

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství

Katedra materiálů a technologií pro automobily



Instrumentovaný pohon pro e-mobilitu

Instrument drive for e-mobility

Autor práce: Bc. Marek Beseda

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Tomčík, Ph.D.

Ostrava 2018

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra materiálů a technologií pro automobily

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Marek Beseda**
Studijní program: N3923 Materiálové inženýrství
Studijní obor: 3911T034 Materiály a technologie pro automobilový průmysl
Téma: **Instrumentovaný pohon pro e-mobilitu**
Instrument drive for e-mobility
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Shrnutí současného stavu v oblasti trakčních pohonů silničních vozidel.
2. Návrh uspořádání experimentální úlohy pro změření rozložení teplot, průtoků chladicích medií a jejich tlaků v pohonné jednotce při testování na brzdě.
3. Realizace navržené experimentální úlohy.
4. Shrnutí a interpretace naměřených výsledků, doporučení pro další vývoj.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. ČECH, Radim. Testování materiálů pro použití na konstrukční části elektromotoru [online]. Ostrava, 2016 [cit. 2018-02-06]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/112238>. Disertační práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
2. ČECH, R., TOMČÍK, P., KULHÁNEK, J., TROJAN, R. Experimental Research on the Parameters of Electric Vehicles. TRANSACTIONS ON TRANSPORT SCIENCES, Ministry of Transport of the Czech Republic, 2012, ročník 5., č. 2., s. 91-98., ISSN 1802-971X.
3. KHAJEPOUR, Amir, M. Saber FALLAH a Avesta GOODARZI. Electric and hybrid vehicles: technologies, modeling and control : a mechatronic approach. Chichester: Wiley, 2014. ISBN 978-1-118-34151-3.
4. CHAU, K. T. Electric vehicle machines and drives: design, analysis and application. Singapore: Wiley, 2015. ISBN 978-1-118-75252-4.
5. HROMÁDKO, Jan. Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol. Praha: Grada Publishing, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.

prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty

Zásady pro vypracování diplomové práce

I.

Diplomovou prací (dále jen DP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

II.

Uspořádání diplomové práce:

- | | |
|--|------------------------------|
| 1. Titulní list | 6. Obsah DP |
| 2. Originál zadání DP | 7. Textová část DP |
| 3. Zásady pro vypracování DP | 8. Seznam použité literatury |
| 4. Prohlášení + místopřísežné prohlášení | 9. Přílohy |
| 5. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky | |

ad 1) Titulní list je koncipován podle požadavků příslušné oborové katedry.

ad 2) Originál zadání DP student obdrží na své oborové katedře.

ad 3) Tyto „Zásady pro vypracování diplomové práce“ následují za originálem zadání DP. („Zásady pro vypracování diplomové práce“ jsou ke stažení na webových stránkách fakulty).

ad 4) Prohlášení + místopřísežné prohlášení napsané na zvláštním listu (ke stažení na webových stránkách fakulty) a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání DP. V případě, že DP vychází ze spolupráce s jinými právníckými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právnické nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním DP.

ad 5) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listu česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.

ad 6) Obsah DP se uvádí na zvláštním listu. Zahrnuje názvy všech očíslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části DP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 7) Textová část DP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním DP;
- Vlastní rozpracování DP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
- Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků DP z hlediska stanoveného zadání.

DP bude zpracována v rozsahu min. cca 45 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury).

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující **doporučené** úpravy - písmo Times New Roman 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 9).

Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost. Matematické vzorce musí být číslovány (v kulatých závorkách). U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury. Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

- ad 8) DP bude obsahovat alespoň 15 literárních odkazů, z toho nejméně 5 v některém ze světových jazyků.

Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. **Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690.** Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu DP.

- ad 9) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

III.

Diplomovou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahoře: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra

uprostřed: *DIPLOMOVÁ PRÁCE*

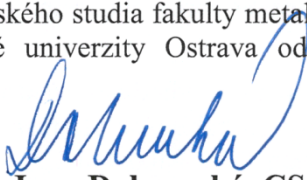
dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě. Po vložení DP do IS EDISON bude provedena její kontrola na plagiátorství.

IV.

Nesplnění výše uvedených zásad pro vypracování diplomové práce může být důvodem nepřijetí práce k obhajobě. O nepřijetí práce k obhajobě rozhoduje v tomto případě garant příslušného studijního oboru. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem magisterského, resp. navazujícího magisterského studia fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2017/2018.

Ostrava 13. 11. 2017


Prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty metalurgie a materiálového inženýrství
VŠB-TU Ostrava

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že:

- Jsem byl seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odstavec 3)
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odstavce 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněná v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona číslo 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci vypracoval samostatně.



V Ostravě dne: 30.4.2018

Podpis (jméno a příjmení studenta)

Abstrakt

V této práci je popsán vývoj metodiky testování systému chlazení trakčního elektromotoru Remy HVH250-090-S. Testování probíhalo na motorové brzdě. Systém chlazení je instrumentován snímači pro měření průtoku, tlaku a teplot. Měření jsou ukládána v reálném čase. Motorová brzda simuluje zatížení vznikající v průběhu jízdních režimů vozidla. Z naměřených průběhů závislosti měřených veličin (Q , P , T) je provedena diskuse s cílem identifikovat problémy chladicí soustavy. V závěru práce je provedeno shrnutí a interpretace výsledků spolu s doporučením pro další vývoj.

Klíčová slova

Elektromotor; trakční motor; chladicí systém

Abstract

In this thesis, the development of the Remy HVH250-090-S traction electric system cooling system testing methodology. Testing was carried out on the engine brake. The cooling system is equipped with sensors for flow, pressure and temperature measurement. Measurements are stored in real time. The engine brake simulates the load generated during vehicle driving modes. Measured variables of the measured variables (Q , P , T) are discussed to identify the problems of the cooling system. At the end of the thesis a summary and interpretation of the results is made together with a recommendation for further development.

Key words

Electric motor; traction motor; the cooling system

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu práce doc. Ing. Petru Tomčíkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a četné konzultace.

OBSAH

Seznam použitých jednotek	13
ÚVOD	14
1. SOUČASNÝ STAV	16
1.1 Trakční pohon Remy HVH	17
1.1.1 Aplikace HVH motoru	18
1.1.2 Komponenty nezbytné k zástavbě.....	19
1.2 Specifikace motoru HVH250-090-S	20
1.2.1 Technická specifikace motoru.....	20
1.2.2 Technická specifikace chladicí kapaliny Dexron VI	20
1.2.3 Charakteristika krouticího momentu HVH250-090-S	21
1.2.4 Výkonová charakteristika motoru HVH250-090-S	22
1.2.5 Diagram účinnosti motoru HVH250-090-S	23
1.2.6 Omezení výkonu	24
1.2.7 Schéma chladicího okruhu	25
1.3 Dílčí části motoru	26
1.3.1 Cartridge.....	26
1.3.2 Statoru	27
1.3.3 Rotor.....	28
1.3.4 Výstupní hřídel.....	29
1.3.5 Enkodér	30
1.3.6 Skříň motoru	31
1.3.7 Chladicí soustava ve skříni motoru	32
1.4 Testování motoru na brzdě s původním chladícím okruhem	33
1.4.1 Popis měřicí soustavy pro testování původního chladicího okruhu.....	33
1.4.2 Test oteplení motoru původního chladicího okruhu	34
1.4.3 Zhodnocení testu oteplení motoru původního chladicího okruhu.....	36
2. NÁVRH USPOŘÁDÁNÍ EXPERIMENTÁLNÍ ÚLOHY PRO ZMĚŘENÍ ROZLOŽENÍ TEPLŮ, PRŮTOKŮ CHLADICÍCH MEDIÍ A JEJICH TLAKŮ V POHONNÉ JEDNOTCE PŘI TESTOVÁNÍ NA BRZDĚ	37

2.1	Instrumentace chladicího okruhu	38
2.2	Komponenty chladicí soustavy	39
2.2.1	Čerpadlo FMT Swiss AG MOBIMAx	39
2.2.2	Snímač tlaku OEM 17.609 G	40
2.2.3	Průtokoměr	41
2.2.4	SWEP tepelný výměník voda/olej	43
2.2.5	Termočlánkové snímače	44
2.3	Praktické provedení uspořádání instrumentované experimentální úlohy pro motorovou brzdu	45
2.3.1	Technologie zatěsnění šroubových spojů	46
2.3.2	Pozice čerpadla	47
2.3.3	Montáž snímačů tlaků	48
2.3.4	Montáž průtokoměrů	51
2.3.5	Montáž tepelného výměníku voda / olej	52
2.3.6	Montáž termočlánkových snímačů	53
2.4	Popis měřicí soustavy upraveného chladicího okruhu	58
2.4.1	Popis brzdy	60
2.4.2	Popis měřicího řetězce	64
3.	REALIZACE NAVRŽENÉ EXPERIMENTÁLNÍ ÚLOHY	67
3.1	Testy přechodového stavu	69
3.1.1	Přechodový stav 0 až 50 km·h ⁻¹	69
3.1.2	Přechodový stav 0 až 90 km·h ⁻¹	75
3.1.3	Přechodový stav 0 až 125 km·h ⁻¹	80
3.2	Testovací režimy – vycházející z jízdních zkoušek	85
3.2.1	Městský provoz	87
3.2.2	Kombinovaný provoz	92
3.2.3	Dálniční provoz	97
3.3	Test změny závislosti na otáčkách motoru	102
3.3.1	Závislost průtoků na otáčkách motoru	102
3.3.2	Závislost tlaků na otáčkách motoru	103

4.	SHRNUTÍ A INTERPRETACE NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ, DOPORUČENÍ PRO DALŠÍ VÝVOJ	104
5.	ZÁVĚR	112
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	113

Seznam použitých jednotek

Značení	Název	Jednotka
f	Frekvence	Hz
I	Proud	A
J	Moment setrvačnosti	kg·m ²
l	Délka	m
m	Hmotnost	kg
M _k	Točivý moment motoru	N·m
n	Otáčky	ot·min ⁻¹
p	Tlak	Pa
P	Výkon motoru	W
Q	Průtok	l·min ⁻¹
t	Čas	s
T	Teplota	°C
U	Napětí	V
ν	Viskozita kinematická	cm ² ·s ⁻¹
v	Rychlost	m·s ⁻¹
V	Objem	m ⁻³
η	Účinnost motoru	%
ρ	Hustota	kg·m ⁻³

ÚVOD

Od jednoho z největších vynálezů lidstva, automobilu respektive spalovacího motoru, utekla dlouhá řada let. S rostoucí produkcí vozů, roste i negativní ohlas na vozidla užívající k pohonu fosilní paliva a produkující škodlivé skleníkové plyny. Tento problém je řešen dvěma směry. Prvním z nich je zdokonalení spalovacích motorů včetně jejich výfukových systémů k rapidnímu snížení produkovaných škodlivin. Druhá cesta vede přes alternativní pohony, které škodlivé plyny neprodukují. Rozsáhlým trendem dnešní doby jsou automobily s čistým elektrickým pohonem. Uchytily se jak z hlediska ekonomického, tak ekologického. Díky dosažení sériové výroby elektromobilů je jejich výrobní cena srovnatelná s běžně produkovanými automobily na fosilní paliva. Spotřební náklady elektromobilů v přepočtu korun na kilometr jsou o polovinu až dvě třetiny nižší, než u automobilů se vznětovými či zážehovými motory. Další stránkou je pohled z ekologického hlediska. Elektromobily neprodukují žádné skleníkové plyny, tudíž mají nulové emise. Ty přispívají, především ve velkých městech, ke snižování smogové složky ovzduší, hlavně v zimním období, kdy to pocítujeme nejvíce. Elektromotor je napájen z baterie umístěné v automobilu. Elektrická energie k dobíjení baterií je nejčastěji získávána z továren mimo města.

K efektivnímu využití elektromobilu s ohledem na ekonomické a ekologické hlediska je zásadní správně navržená trakční jednotka. Na rozdíl od jiných točivých strojů, mají tyto elektromotory vysokou účinnost. I při sériové výrobě trakčních pohonů zůstává v dnešní době prostor ke zlepšování. Posunout technologii chladicího systému trakčního motoru na základě testování simulací jízdních režimů a snímání průběhu veličin v motoru je podstatou této práce.

Vývojová střediska na základě tlaku legislativ a normativ vyspělých zemí, příkladem může být norma EN 60034-2-1, začala vyvíjet stroje účinnější. Začala vyvíjet technicky pokročilé elektromobily. Podobným projektem je také vývoj vozu StudentCar SCX na katedře materiálů a technologií pro automobily. Hlavní myšlenkou, jak masově rozšířit bezemisní automobilismus, je vyvinout elektromobily s co nejvyšší účinností a dojezdem, aby doba nabíjení neomezovala uživatele [1].

Výsledky této práce by měly pomoci k zvýšení účinnosti a životnosti trakčních pohonů, zdokonalením jejich chladicí soustavy. Každé navýšení chladicí schopnosti má za následek menší ztrátové teplo. To má vliv na nárůst účinnosti motoru, čímž klesne spotřeba elektrické energie, a to nám navýší dojezd.

Práce řeší teplotní pole v trakčním elektromotoru a jeho efektivní chlazení. Úpravu chladicí soustavy pohonné jednotky elektromotoru REMY HVH250-090 bylo vhodné provést po zástavbě do další generace prototypového vozu StudentCar SCX 3,5 a testování v provozu. Realizace navržených experimentálních měření je prováděna na brzdovém pracovišti KMTA. Tyto následné úpravy a opatření, pomohou přesnějšímu dimenzování pohonné soustavy pro zástavbu do dalších vozů.

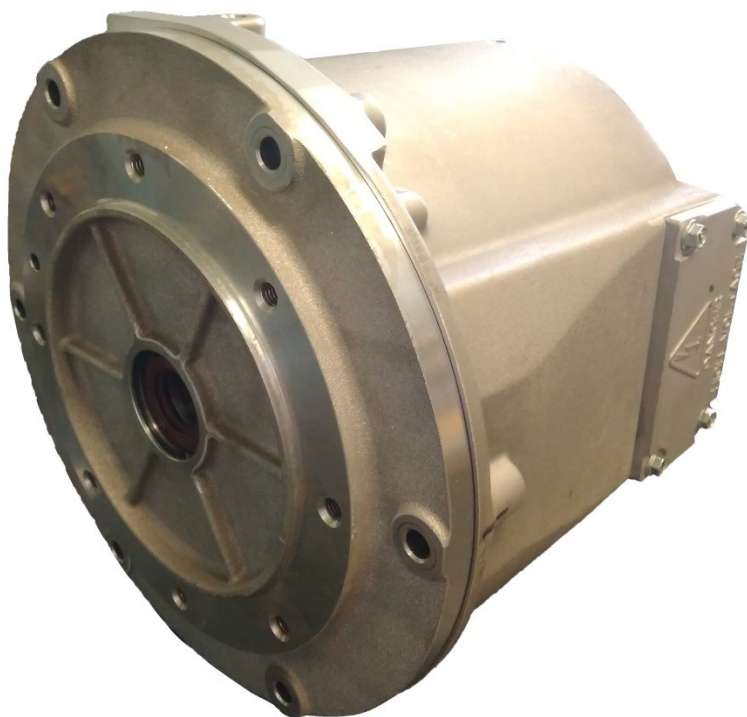
1. SOUČASNÝ STAV

Hlavním řešeným problémem této práce bylo získat poznatky o současném stavu trakčního motoru HVH250-090, abychom mohli uzpůsobit a navrhnout skříň motoru na nosnou část vozidla, která bude obsahovat všechny nezbytné komponenty pro provoz motoru, jakož například frekvenční měnič, chladicí systém a převodové ústrojí. To znamená zmapovat teplotní pole a průtokový systém chladicí kapaliny v elektromotoru. Vyhodnotit naměřená data a na jejich základě navrhnout možné úpravy vedoucí k zefektivnění jeho chladicího okruhu k zásadní funkční úpravě skříně.

Na základě předchozích zkušeností byl zvolen motor REMY HVH250-090, na kterém již v rámci projektů elektromobility na Katedře materiálů a technologií pro automobily, VŠB – TU Ostrava byla prováděna řada experimentálních měření a testování elektromotorů, viz Testování materiálů pro použití konstrukčních částí elektromotorů a Technická zpráva z brzdění Remy motoru [1][2].

1.1 Trakční pohon Remy HVH

Trakční pohony HVH250-090 jsou vysoce výkonné elektromotory/generátory s možnostmi konfigurace rozměrů, které jsou k dispozici v pouzdrech, nebo jako sestavy statoru a rotoru. Jeden až dva motory HVH250 mají širokou škálu aplikací od lehkého až po středně náročné upotřebení, jako jsou trakční motory vozidel, paralelních hybridní generátory, startovací motory pro spalovací motory, průmyslové motory/generátory. Vynikají vysokou účinností výkonu, vynikající spolehlivostí a dlouhodobou životností. Kompaktní rozměry s nízkou hmotností poskytují vynikající parametry. Motory HVH mají patentovanou vysokotlakou technologii navíjení statorů v malém kompaktním obalu. Jejich nízká váha a objem nabízejí větší flexibilitu umístění ve vozidle. Bezkonkurenční účinnost motoru je navržena s patentovaným vysokonapěťovým uzávěrem (HVH) pro neobvyklé chlazení ve vysokých teplotách a vibračním prostředí vozidla [3].



Obr. 1 Trakční motor Remy HVH250.

1.1.1 Aplikace HVH motoru

Níže uvedený výčet parametrů byl převzat z REMY HVH250 Application Manual [3].

Motory poskytují flexibilitu návrhu, která pokrývá širokou škálu výkonových požadavků. Výběr motoru, který odpovídá konkrétní aplikaci, vyžaduje studii pro:

- **výkonnostní očekávání,**
- **aplikaci provozního cyklu,**
- **dostupné napětí a proud,**
- **správnou volbu měniče,**
- **návrh převodovky,**
- **očekávanou životnost,**
- **možnosti chlazení a řadu dalších parametrů.**

Typické aplikace pro motory HVH250:

- Lehký automobilový trakční motor/generátor.
- Střední a těžká automobilová trakce, pomoc při napájení a výrobě energie.
- Výroba elektrického proudu ve vozidle a výkon motoru pro příslušenství.
- Komerční pohony a generátory.
- Průmyslové pohony.
- Výroba větrné a vodní elektrárny.

1.1.2 Komponenty nezbytné k zástavbě

Níže uvedené údaje byly převzaty z Remy HVH250 Application Manual [3].

Typická zástavba motoru vyžaduje:

- **Zdroj napájení** - obvykle ze sítě, baterií nebo generovaného napájení.
- **Frekvenční měnič pro převod napětí ze zdroje** na 3fázově řízený výstup při odpovídajícím napětí a aktuální úrovni pro napájení elektromotoru. Je-li požadována schopnost generování, měnič by měl být schopen vracet elektrickou energii z elektromotoru do zdroje energie.
- **Řídicí systém** - schopný řídit provozní režimy měniče na základě vstupních nebo systémových požadavků.
- **Motor HVH250** - specifikovaný tak, aby odpovídal systémovým parametrům:
 - Potřebný výkon a krouticí moment.
 - Vstup elektrického proudu a napětí.
 - Rozsah provozních otáček.
 - Chladicí schopnost.
 - Mechanické rozhraní pro zástavbu.
 - Elektrické rozhraní.
- **Mechanické výstupní rozhraní** - od převodovek vozidel, čerpadel, hnacích hřídelů nebo jiných mechanických zařízení připojených k motoru HVH250.

1.2 Specifikace motoru HVH250-090-S

1.2.1 Technická specifikace motoru

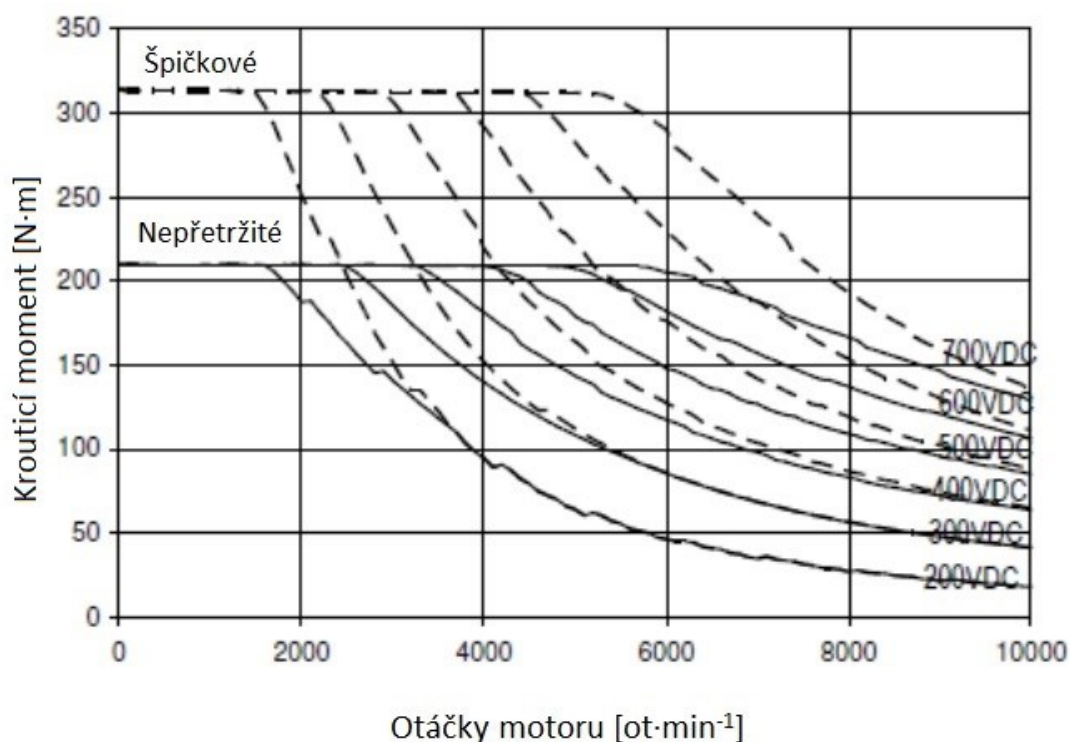
Celková hmotnost:	50 kg
Hmotnost cartridge:	35 kg
Moment setrvačnosti:	0,06 kg·m ²
Chladicí kapalina:	Dexron VI
Filtr chladicí kapaliny:	max. 60 µm
Průtok chladicí kapaliny:	8 až 15 l·min ⁻¹
Maximální napětí sběrnice:	700 V
Maximální proud:	300 A
Nepřetržitý výkon:	120 kW
Nepřetržitý krouticí moment:	210 N·m
Špičkový výkon:	180 kW
Špičkový točivý moment:	310 N·m
Špičková účinnost:	95,6 %
Maximální otáčky motoru:	10 000 ot·min ⁻¹

1.2.2 Technická specifikace chladicí kapaliny Dexron VI

Vzhled:	viskózní kapalina
Barva:	červená
Bod tuhnutí:	-54 °C
Bod vzplanutí:	220 °C
Hustota při 20 °C:	0,845 kg·l ⁻¹
Viskozita při 40 °C:	29,8 mm ² ·s ⁻¹
Viskozita při 100 °C:	6,0 mm ² ·s ⁻¹
Index viskozity:	145

1.2.3 Charakteristika krouticího momentu HVH250-090-S

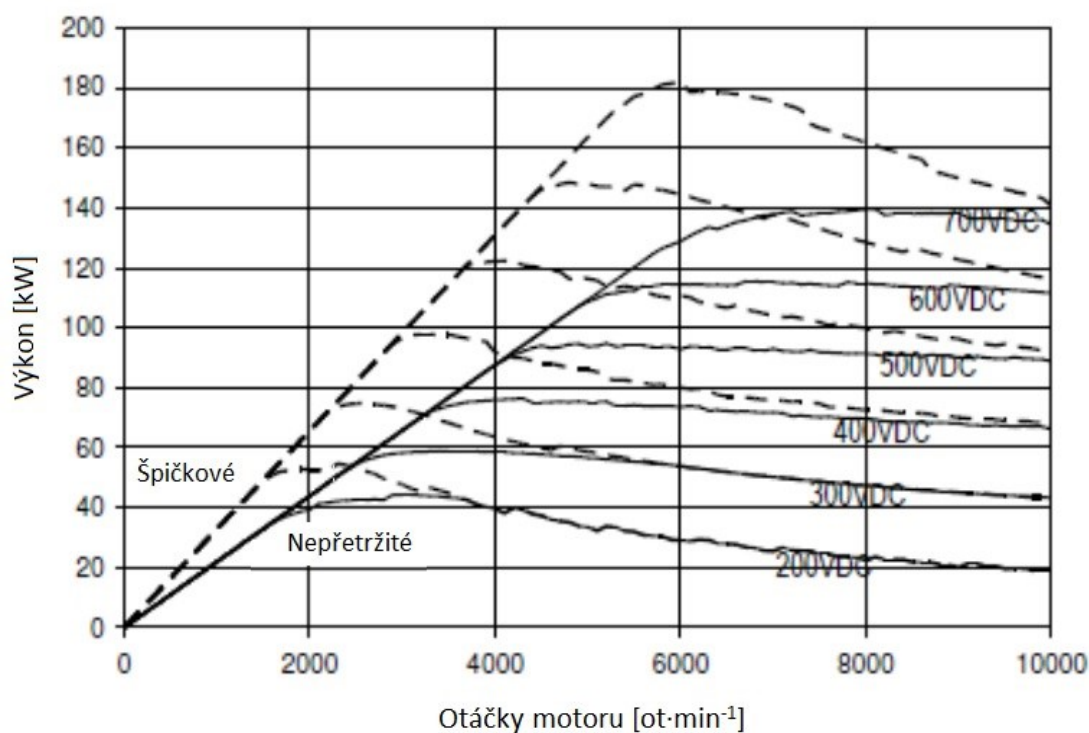
Na grafu je vyobrazen průběh krouticího momentu v závislosti na otáčkách motoru, při definovaném výstupním napětí z napájecího zdroje. Čerchovanou čarou je znázorněn průběh špičkového krouticího momentu. Plnou čarou je znázorněn průběh nepřetržitého krouticího momentu, jak vidíme na Obr. 2.



Obr. 2 Graf charakteristiky krouticího momentu na otáčkách motoru [3].

1.2.4 Výkonová charakteristika motoru HVH250-090-S

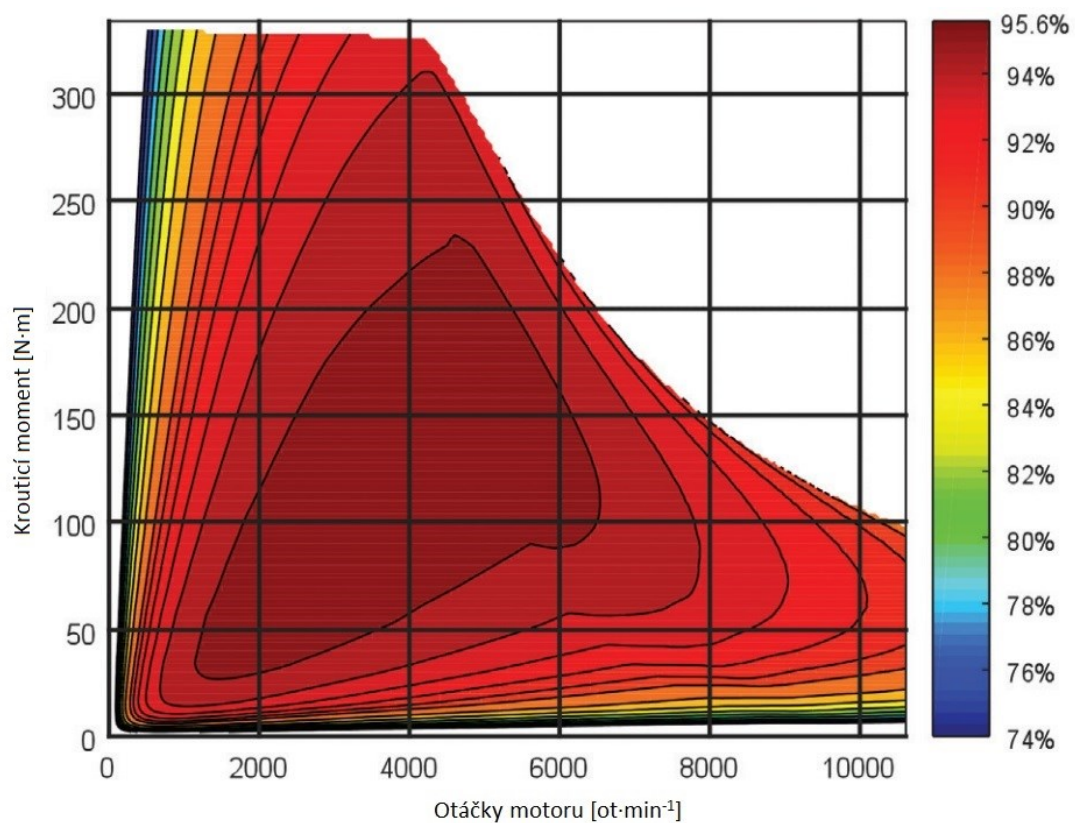
Křivku výkonu v závislosti na otáčkách motoru, při definovaném výstupním napětí z napájecího zdroje vidíme na Obr. 3. Čerchovaná čára nám znázorňuje špičkový výkon a plná čára znázorňuje výkon nepřetržitý.



Obr. 3 Graf charakteristiky výkonu na otáčkách motoru [3].

1.2.5 Diagram účinnosti motoru HVH250-090-S

Mapa účinnosti barevně rozděluje škálu účinnosti motoru v závislosti na otáčkách. Čím větší účinnost, tím se pole působnosti zužuje, jak můžeme vidět na Obr. 4.

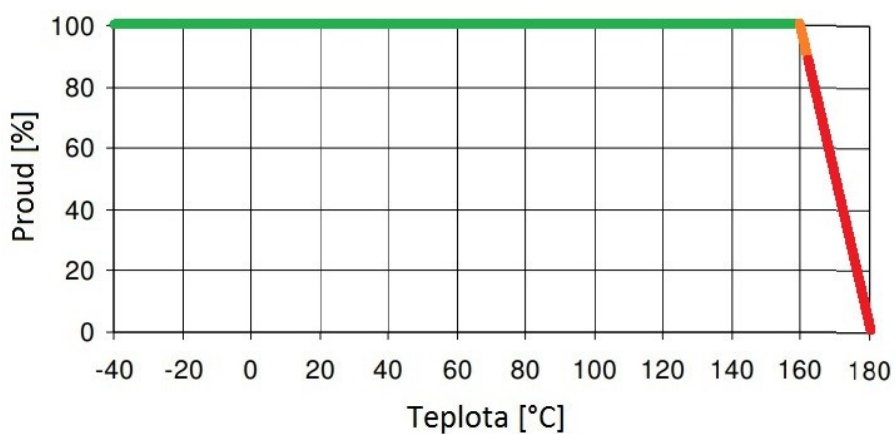


Obr. 4 Mapa účinnosti motoru HVH250-090 [4].

1.2.6 Omezení výkonu

Při dosažení teploty 180°C snímači ve statoru, dochází k omezení proudu do vinutí statoru, aby se zabránilo demagnetizaci magnetických částí motoru [3].

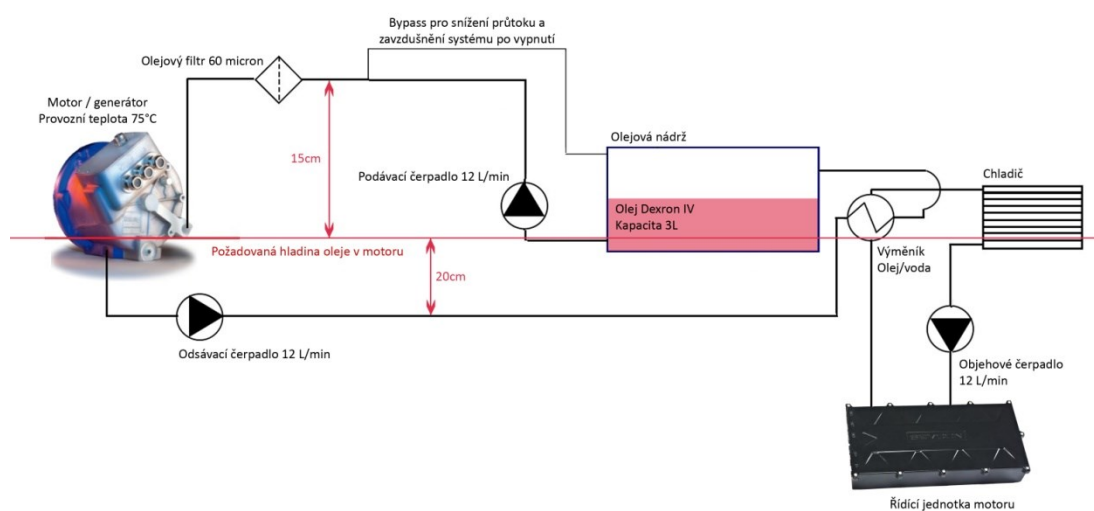
Pracovní teplota magnetů na bázi NdFeB, určených pro vysokoteplotní aplikace je (dle tvrzení některých výrobců např. PZK BRNO a.s.) až 230°C [5].



Obr. 5 Závislost omezení výkonu na teplotě [3].

1.2.7 Schéma chladicího okruhu

Chladicí okruh se skládá z motoru, frekvenčního měniče, tepelného výměníku voda/olej, tří pomocných čerpadel, chladiče s aktivním chlazením, expanzní nádoby vodního okruhu a nádrže olejového okruhu [2]. Chladicí soustava je tvořena ze dvou samostatných okruhů. Vodní okruh je částečně převzatý z konvenčního automobilu a je v něm zapojeno oběhové elektrické čerpadlo, které realizuje oběh kapaliny (nemrznoucí kapaliny Glykol) přes chladič, frekvenční měnič a tepelný výměník. Jedná se o otevřený okruh s vyústěním v expanzní nádobce. Druhý okruh je olejový s náplní Dexron VI, ve kterém je zapojeno podávací čerpadlo do motoru, olejový filtr, motor, odsávací čerpadlo, tepelný výměník a nádrž na olej. Chladicí soustavu vidíme na Obr. 6.



Obr. 6 Chladicí soustava motoru HVH250 [1].

1.3 Dílčí části motoru

Elektromotor se skládá z dílčích částí:

- Cartridge
- Stator
- Rotor
- Výstupní hřídel
- Enkodér
- Skříň motoru
- Chladicí soustava ve skříni motoru

1.3.1 Cartridge

Motorové komponenty jsou obsaženy v cartridge, která udržuje souosost ložisek, rotorů, stator a enkodéru pro montáž do skříně motoru. Cartridge je toleranční část, která zajistí, že se v tolerancích pod mezními hodnotami zachovaná magnetická a vzduchová mezera - kritický konstrukční parametr. Vstupy a výstupy chladicího media do cartridge jsou na Obr. 7. Chladicí médium je přiváděno na plášť cartridge, kde shora proniká kanálky na vinutí statoru a spodní stranou čelní a zadní strany odtéká. Cartridge neposkytuje žádné elektrické krytí ani neobsahuje ložiskové domky pro hřídel, toto zajišťuje skříň motoru [3].



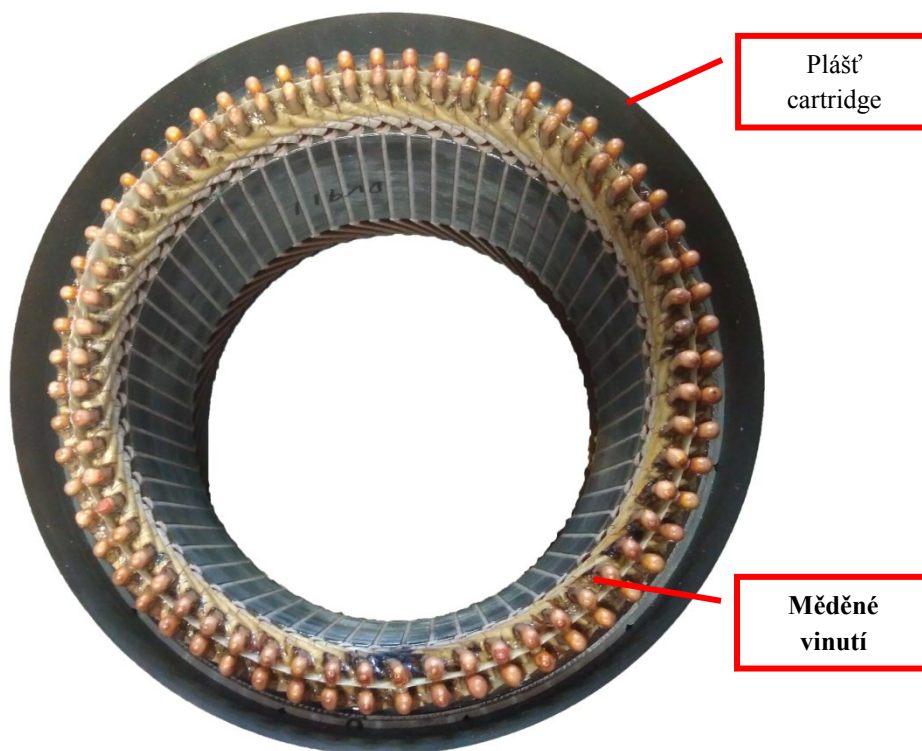
1.3.2 Statoru

Níže uvedené data byly převzaty z Remy HVH250 Application Manual [3].

Remy "HighVoltageHairpin" (HVH) má vinutí v drážkách magnetického obvodu z dynamo plechů, na čelech je propojené „vlásenkovými piny“. Toto řešení snižuje ztráty magnetického toku a maximalizuje tepelný přenos na plášť cartridge.

Přednosti konstrukce statoru HVH250:

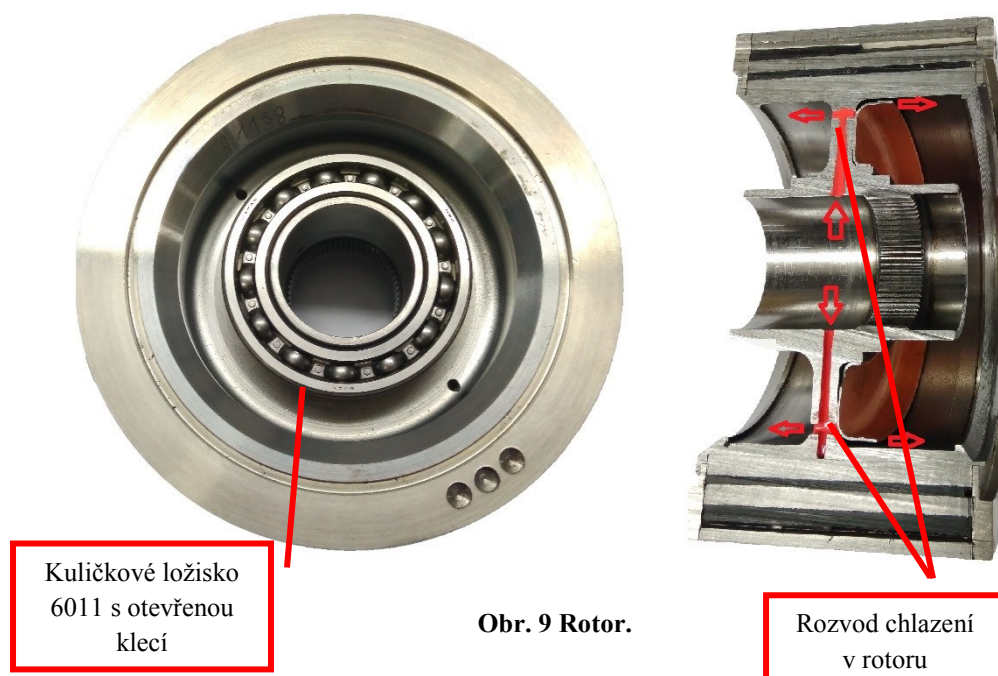
- Umožňuje vysoký proud uvnitř vinutí při provozu.
- Robustní a lehká konstrukce.
- 10ti-pólové sériové nebo paralelní vinutí pro optimalizaci výkonu pro konkrétní aplikace.
- Obsahuje snímače teploty pro ovládání měniče k omezení výkonu a zabránění nadměrného přehřátí.



Obr. 8 Statorové vinutí.

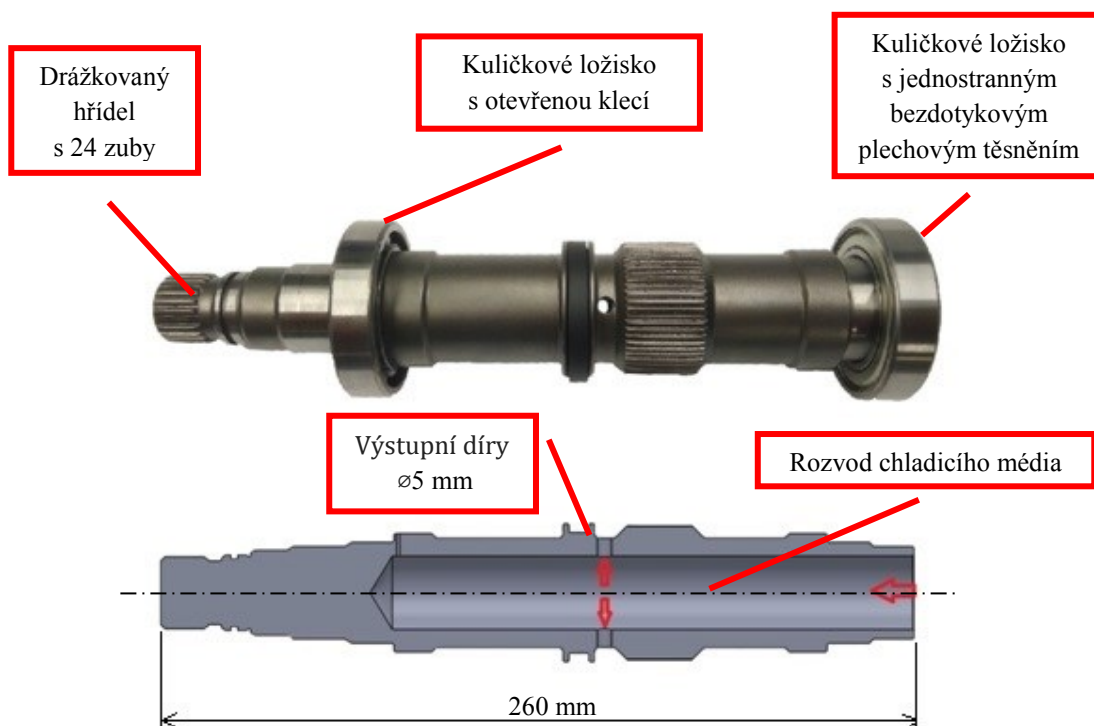
1.3.3 Rotor

Poskytuje maximální výkon odvozený z rozsáhlého počítačového modelování magnetických toků pro optimalizaci polohování magnetů, vysoký výkon motoru a generátoru a minimální hmotnost a rotační setrvačnost. Rotor byl také testován na konečnoprvkové analýze pro konstrukční integritu při překročení rychlosti nad maximální provozní rychlost motoru. Rotor je namontován v nerozebíratelných jednořadých radiálních kuličkových ložiskách s otevřenou ocelovou klecí s normální radiální vůlí. Jedná se o dva typy ložisek. První ložisko 6011ISO 5593 je z čela rotoru. Jeho parametry jsou následující: vnější průměr je 90 mm, vnitřní průměr je 55 mm a šířka je 18 mm. Druhé ložisko 6911ISO 5593 je ze zadní části rotoru. Jeho parametry jsou následující: vnější průměr je 80 mm, vnitřní průměr je 55 mm a šířka je 13 mm. Výrobce používá magnety ze vzácných zemin a neudává typ ani jejich složení. V rotoru se nachází rozvod chladicí kapaliny, jenž se do něj dostane přes hřídel a je dále rozstříkovan do vnitřního prostoru cartridge. Rotor a řez rotorem můžeme vidět na Obr. 9.[3]



1.3.4 Výstupní hřídel

Vnější drážkovaný hřídel s 24 zuby umožňuje připojení ke standardním rozhraním. Hřídel je ze 2/3dutý a přivádí chladicí médium do rotoru. Zatížení je podporováno kuličkovými ložisky 6007ISO 5593 namontovanými ve skříni motoru. Parametry kuličkového ložiska 6007ISO 5593 jsou následující: vnější průměr je 62 mm, vnitřní průměr je 35 mm a šířka je 14 mm. Jedná se o dva typy ložisek. První je nerozebíratelné jednořadé radiální kuličkové ložisko s otevřenou ocelovou klecí s normální, radiální vůlí. Druhé je nerozebíratelné jednořadé radiální kuličkové ložisko s ocelovou klecí vedenou kuličkami s jednostranným bezdotykovým plechovým těsněním a normální radiální vůlí [3]. Vše vidíme na Obr. 10.

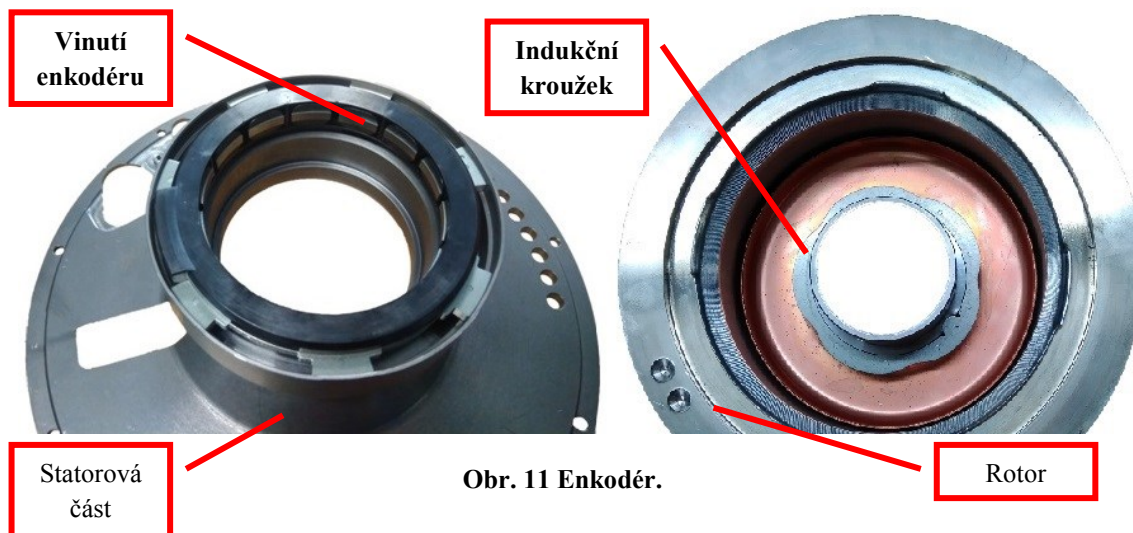


Obr. 10 Výstupní hřídel elektromotoru.

1.3.5 Enkodér

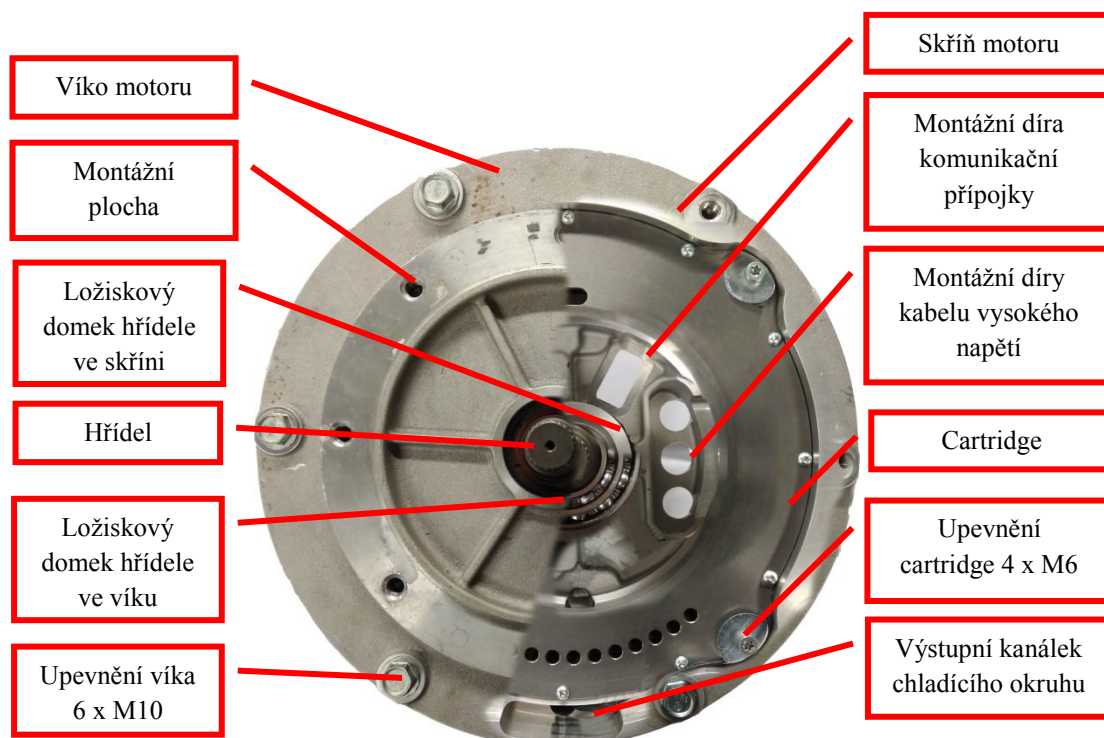
Pro řízení motoru potřebujeme znát jeho úhel natočení. Po roztočení indukčního kroužku dostaneme na výstupu enkodéru střídavý signál, z něhož poté dopočítáváme úhel natočení rotoru a jeho otáčky. Indukční enkodér má vysokou odolnost proti nečistotám, například od optických snímačů.[6]

Enkodér motoru Remy HVH250-090 vidíme na Obr. 11.



1.3.6 Skříň motoru

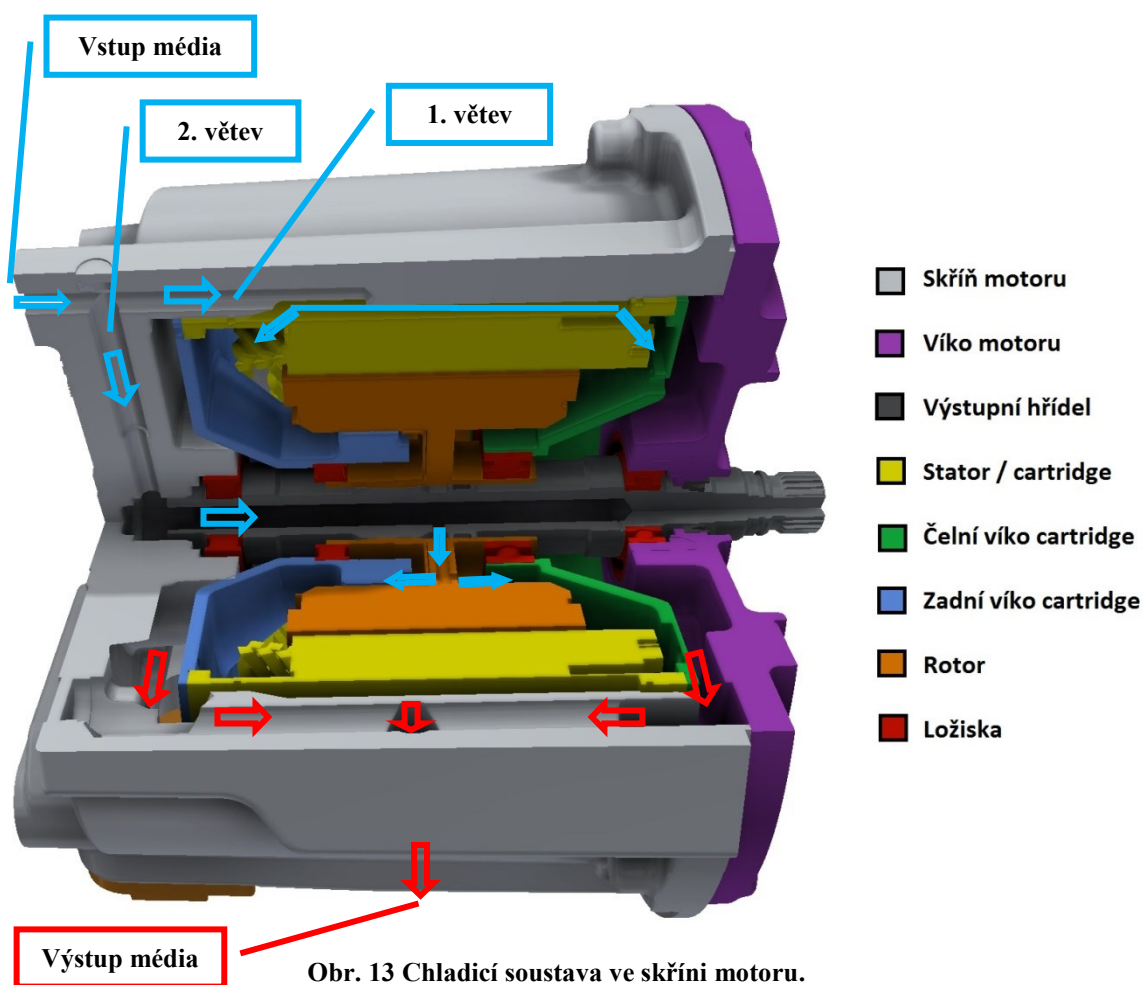
Skříň BorgWarner (Obr. 12) je obrobený odlitek ze slitiny hliníku, kterou výrobce neudává. Ve skříni je cartridge vycentrována pomocí tolerovaných osazení a upevněna šroubovými spoji. Hřídel cartridge má jeden z ložiskových domků v zadní části skříně. Druhý ložiskový domek hřídele je umístěn v čelním víku skříně. Víko je ke skříni v sousostí díky osazení a spojeno pomocí šesti šroubů M10. Připojení dalších komponent je možno na víku motoru pomocí dosedací plochy s osazením a závitovými dírami M10 v natočení úhlu po 45°. Skříň poskytuje připojení vysokého a nízkého napětí, mazání. Vnitřní nucené chlazení udržuje teploty statoru a zabraňuje demagnetizaci. Skříň obsahuje kanálky chladicího a současně mazacího okruhu, přípojky vysokého napětí a komunikační přípojky [4].



Obr. 12 Skříň motoru BorgWarner.

1.3.7 Chladicí soustava ve skříni motoru

Chlazení a mazání motoru je v našem případě totožné. Jedná se tedy o stejný okruh, ve kterém obě funkce zajišťuje olej Dexron VI. Tato soustava je v motoru kombinovaná, a to jak tlaková, tak rozstřikovací. Po vstupu chladicího média do skříně se dělí na dvě větve. Ta přímější vede na plášť cartridge. Zde proniká ve vrchní části dvanácti malými průtokovými kanálky. Kanálek má v průměru 2 mm. Po průchodu kanálkem je směřován na satorové vinutí, přes které se dostává do spodní části motoru. Druhá větev je kolmo na první větev a tou je přiváděno médium do hřídele. Přes hřídel proniká do kanálků v rotoru, odkud je rozstřikován do vnitřního prostoru cartridge. Tato soustava zajišťuje přímý kontakt kapaliny se všemi dílčími částmi motoru. Tím dochází i k přímému kontaktu kapaliny s ložisky, které tak jsou dostatečně mazány. Řez skříní vidíme na Obr. 13.

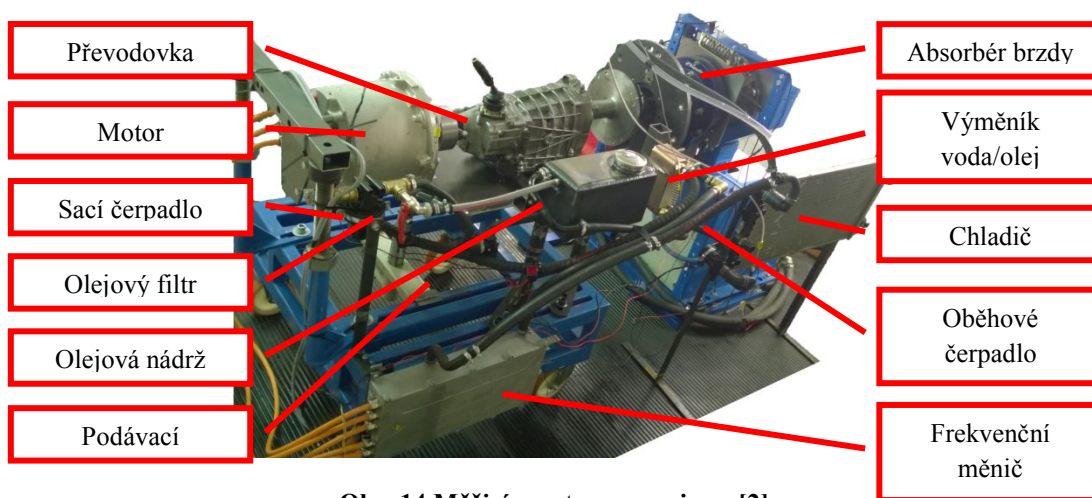


Obr. 13 Chladicí soustava ve skříni motoru.

1.4 Testování motoru na brzdě s původním chladícím okruhem

1.4.1 Popis měřicí soustavy pro testování původního chladicího okruhu

Pro měření krouticího momentu a výkonu motoru byla použita hydrodynamická brzda SuperFlow SF-902. V případě hydrodynamického absorbéru roste brzdný moment s druhou mocninou otáček motoru. Tato brzda je vhodná především pro rychloběžné sportovní motory. U testovaného motoru se předpokládá, že bude dosahovat hodnoty maximálního krouticího momentu již od nulových otáček. Proto bylo nezbytné mezi motor a brzdný absorbér převodovou skříň s převodem 3,5:1. Měřený motor a řídicí jednotka je chlazena průtokovým médiem Dexron IV. Jako napájení motoru byl použit bateriový box na bázi LiFePO4 se jmenovitým napětím 650V. Podrobné rozmístění komponentů je možné vidět na Obr. 14 [2].



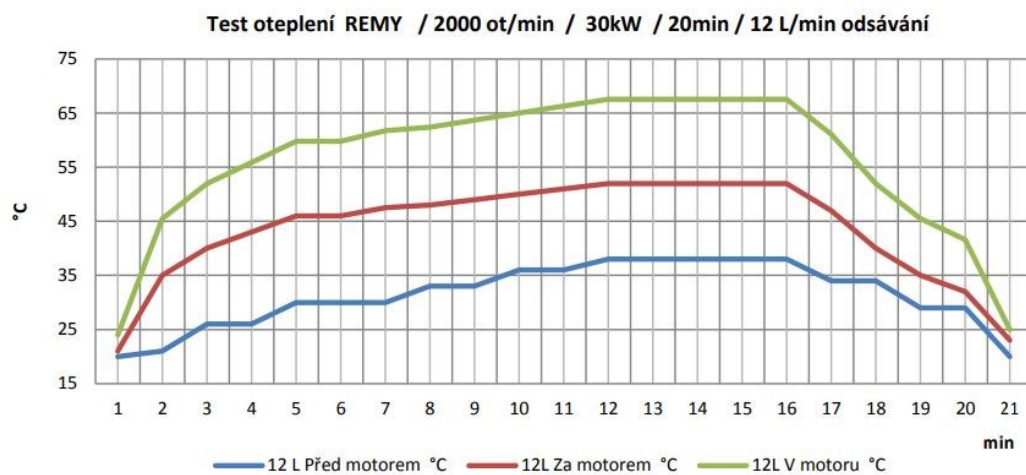
Obr. 14 Měřicí soustava s popisem [2].

1.4.2 Test oteplení motoru původního chladicího okruhu

Tento test probíhal po dobu 20 minut, z toho 15 minut probíhalo zatížení motoru konstantními hodnotami a to 2000 ot·min⁻¹ a 30 kW. Posledních 5 minut probíhalo ochlazování bez zatížení. Cílem měření mělo být zjištění optimálního nastavení chladicího okruhu. Chladicí okruh, který je výše popsán kopíruje možné rozložení a parametry ve voze. Samotná skutečnost, že trvalý odběr výkonu z motoru byl pouze 30 kW při 2000 ot·min⁻¹ naznačuje nutnost efektivnějšího chlazení. Základním úskalím chlazení je kontrola množství náplně v samotném elektromotoru. Výrobce doporučuje dvě čerpadla jedno podávací do motoru a jedno odsávací. Dále doporučuje průtok čerpadel 5 až 30 l·min⁻¹. V naší aplikaci jsme použili čerpadla s průtokem 12 l·min⁻¹ s tím, že za podávacím čerpadlem je záměrně vytvořen obtok pro částečné snížení průtoku. To proto, aby nemohlo dojít k přeplnění motoru chladicím olejem a tím k přetečení kapaliny mimo okruh přes přepadový ventil na motoru. Kromě této skutečnosti velké množství oleje v motoru zapříčiní hydrodynamické brzdění v samotném motoru a tím zvýšení teploty motoru a snížením účinnosti a výkonu [2].

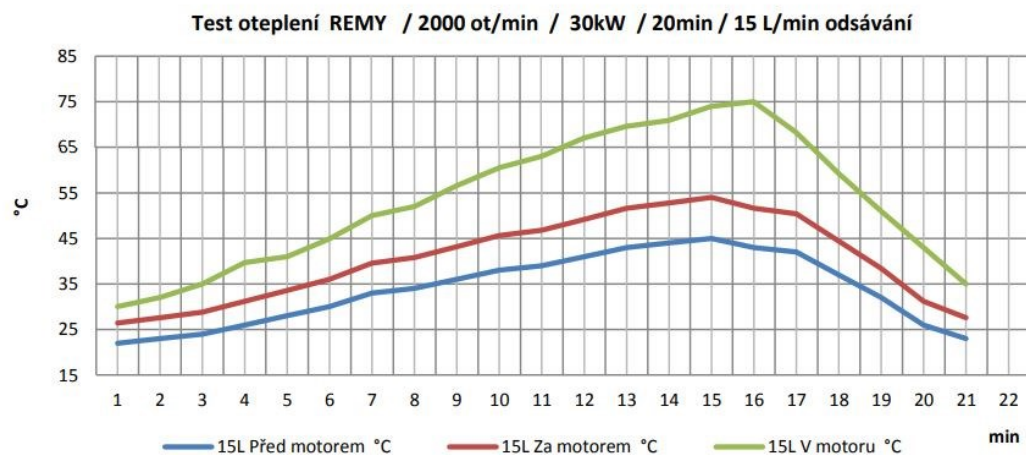
Provedli jsme několik kalibračních testů, kdy jsme zkoušeli regulovat průtok do motoru. Z těchto měření vyplynulo, že je potřeba zvýšit průtok přes samotný motor a, že 12 l·min⁻¹ čerpadla by bylo vhodné nahradit za jiná s vyšším průtokem. Plný průtok čerpadel nestačil k tomu, abychom byli schopni trvale udržovat motor ve jmenovitém výkonu. Dále jsme provedli srovnávací test za použití většího odsávacího čerpadla k porovnání, zda dochází k lepšímu odvodu ohřátého oleje ven z motoru [2].

V následujícím grafu (Obr. 15) jsou vyneseny průběhy teplot v různých částech chladicího okruhu, a to teplota oleje před motorem, teplota uvnitř motoru a teplota oleje za motorem. Z grafu je patrný strmý nárůst teploty od začátku měření a dále postupná stabilizace teploty až do 15 minuty testu, kdy bylo zatížení přerušeno. Teploty dále strmě klesaly a začaly se srovnávat [2].



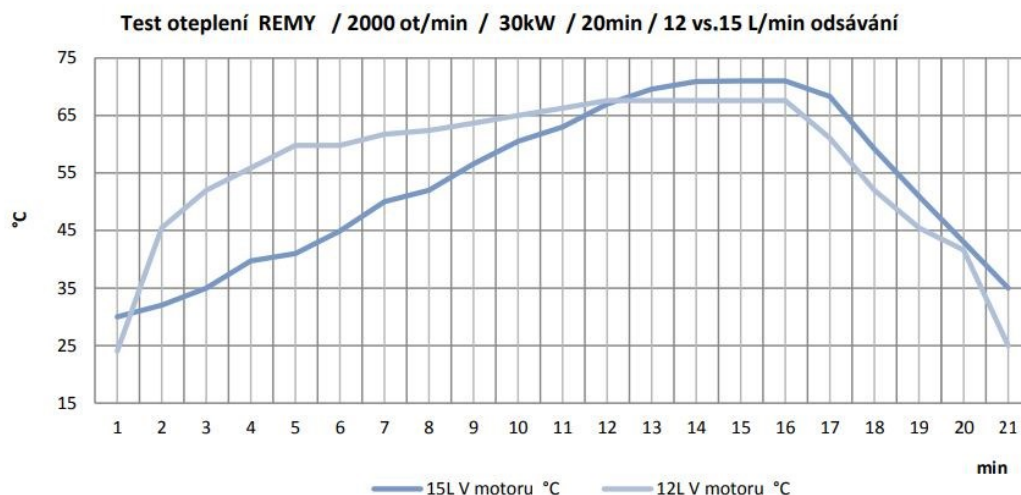
Obr. 15 Test oteplení Remy HVH250 12 l·min⁻¹ odsávání [2].

V druhém testu se silnějším odsávacím čerpadlem z grafu (Obr. 16) můžeme vyčíst odlišný průběh chlazení. Prakticky lineárně roste až do konce zatěžovací části testu [2].



Obr. 16 Test oteplení Remy HVH250 15 l·min⁻¹ odsávání [2].

Na grafu (Obr. 17) je srovnání průběhu teplot v motoru při testech. Mez jednotlivými testy je patrný rozdíl. Křivka teploty druhého testu výrazně pomaleji rostla a o něco déle trvalo ustálení teploty, ochlazovací křivka už odpovídá a prakticky kopíruje průběh jako v prvním testu [2].



Obr. 17 Test oteplení REMY / $2000 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ / 30 kW / 20min / 12 vs. $15 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ odsávání [2].

1.4.3 Zhodnocení testu oteplení motoru původního chladicího okruhu

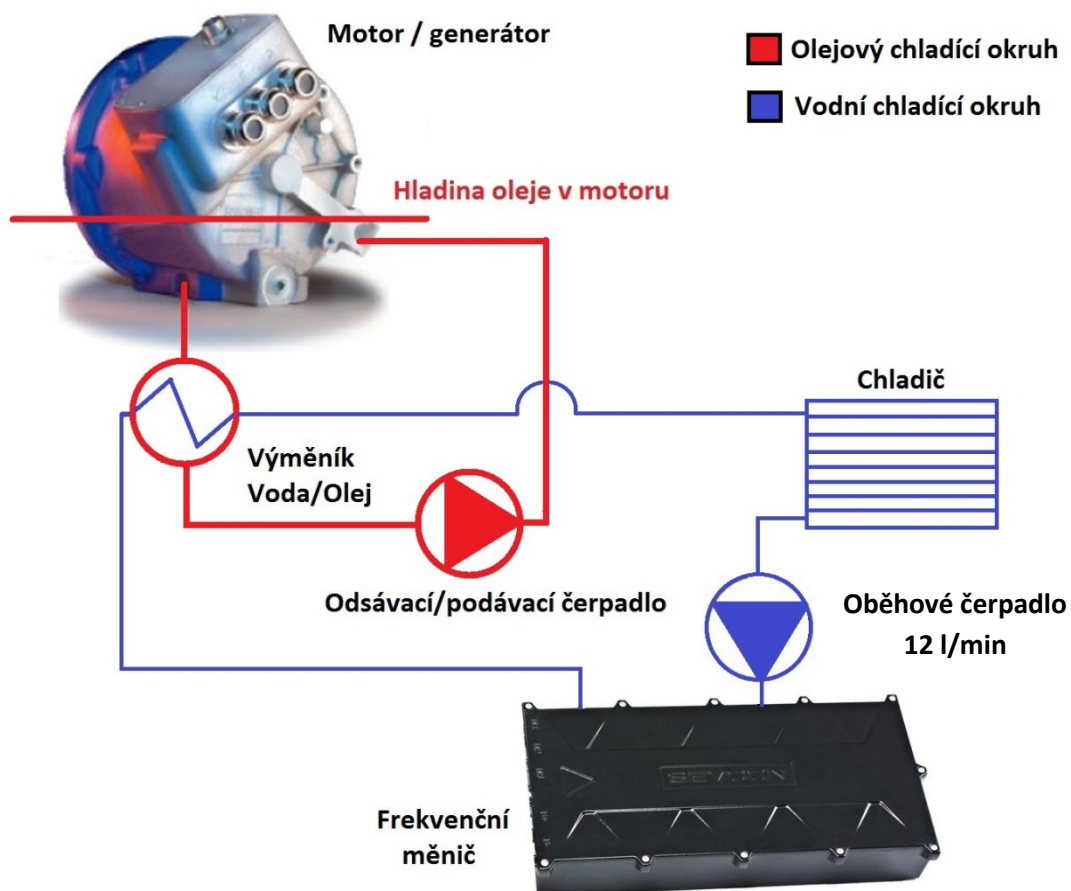
Výsledkem tohoto měření bylo ověření funkce pohonné jednotky a zkouška chladicího okruhu v laboratorních podmínkách se simulací reálného provozu. Další směry vyplývající z tohoto měření jsou [2]:

- Posílení průtoku olejového chlazení za pomoci silnějších oběhových čerpadel.
- Zvýšení funkční plochy výměníku voda-olej nebo zdvojením.
- Zvýšit objem chladiva v systému [2].

Z prvního bodu závěru vyplývá nesoulad dvou čerpadel. Na základě ověření z jízdních zkoušek s SCX 3,5, a na základě výstupů z experimentů [2] testování v této práci proběhlo jen s jedním čerpadlem. Poté se uvidí, zda je třeba dělat opatření v dalších bodech tohoto závěru.

2. NÁVRH USPOŘÁDÁNÍ EXPERIMENTÁLNÍ ÚLOHY PRO ZMĚŘENÍ ROZLOŽENÍ TEPLOT, PRŮTOKŮ CHLADICÍCH MEDIÍ A JEJICH TLAKŮ V POHONNÉ JEDNOTCE PŘI TESTOVÁNÍ NA BRZDĚ

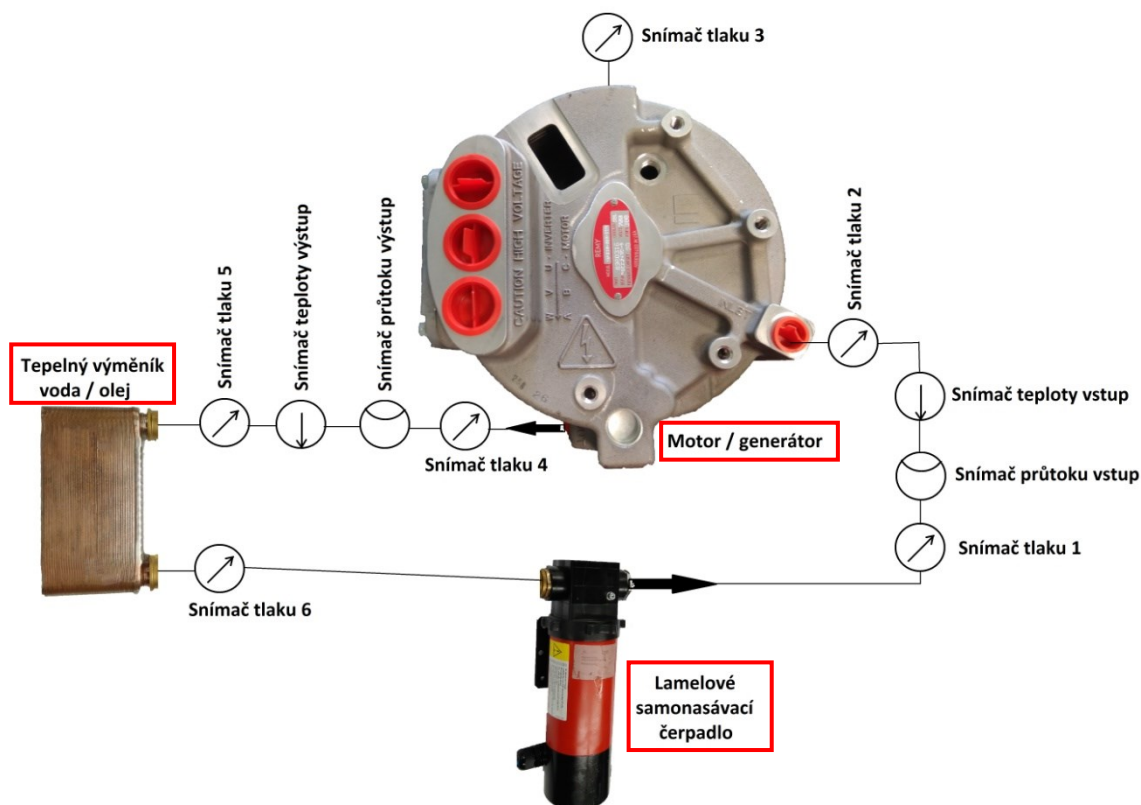
Hlavním cílem této části je navrhnout uspořádání experimentální úlohy pro změření rozložení teplot, průtoků chladicích medií a jejich tlaků v pohonné jednotce při testování na brzdě. Na základě experimentálně ověřených poznatků pak zjednodušit a zdokonalit schopnost chladicího systému. Navržená experimentální úloha mapuje teplotní pole, průtoky, rozvod chladicí kapaliny a tlakové ztráty jak v motoru, tak v celém chladicím okruhu. Z těchto poznatků pak budeme schopni navrhnout další možné postupy k dosažení efektivnějšího chlazení. Schéma navrhovaného chladicího okruhu pro experimentální úlohu vidíme na Obr. 18.



Obr. 18 Upravený chladicí okruh motoru.

2.1 Instrumentace chladicího okruhu

Z již naměřených a vyhodnocených dat jsme získali poznatky o složitosti doporučeného chladicího systému. Pro následující měření jsme chladicí olejový systém zkrátili na co nejmenší možný oběhový okruh, viz Obr. 18. Ve zkráceném chladicím okruhu pro mapování jeho chování jsou posloupně zapojeny tyto komponenty: čerpadlo, tlakoměr, termočlánek, průtokoměr, tlakoměr před motorem, motor, tlakoměr umístěný na motoru, termočlánek umístěný v motoru, tlakoměr za motorem, průtokoměr, termočlánek, tlakoměr před výměníkem, tepelný výměník, tlakoměr za výměníkem. Zmíněné snímače zajišťují instrumentaci olejového okruhu s cílem získat reálná dat popisující vývoj jednotlivých veličin (T , P , Q) v průběhu testu na motorové brzdě. Frekvenční měnič je chlazený vodním okruhem a není instrumentován. Rovněž není instrumentován vodní okruh výměníku voda/olej. Vodní okruhy jsou připojeny na chladicí systém motorové brzdy. Schéma měřícího olejového chladicího okruhu vidíme na Obr. 19.



Obr. 19 Schéma měřícího olejového chladicího okruhu.

2.2 Komponenty chladicí soustavy

Instrumentovaný chladicí olejový okruh se skládá z mnoha komponentů.

2.2.1 Čerpadlo FMT Swiss AG MOBIMAxX

Lamelové čerpadlo MOBIMAxX 23 406 (Obr. 20) jsme volili na základě předchozích poznatků s malým průtokem. Jedná se o samonasávací průmyslové čerpadlo na oleje a ropné kapaliny. Zvládá nepřetržitý provoz až po dobu 3 hodin. Čerpadlo je volně polohovatelné ve všech polohách 90° [7].

Základní technické parametry [7]:

Čerpací výkon při volném výtoku až do:	54 l·min ⁻¹
Sací výška až do:	3 m
Čerpací tlak až do:	1,8 bar
Přípojka na sací straně:	G 1“
Přípojka na výtlačné straně:	G 1“
Maximální přípustná mezní teplota:	155 °C
Napětí:	12 V
Příkon proudu:	30 A
Výkon:	360 W
Pojistka:	40 A, zástrčná
Doba zapnutí při volném výtoku:	180 min
Točivý moment:	0,66 N·m
Otáčky motoru:	2500 ot·min ⁻¹
Rozměry DxŠxV:	290 x 120 x 120 mm
Hmotnost:	5,58 kg



Obr. 20 Lamelové čerpadlo FMT Swiss AG.

2.2.2 Snímač tlaku OEM 17.609 G

K detekci tlakových průběhů v chladicím okruhu jsme použili OEM snímače tlaku 17.609 G, který je vidět na Obr. 21.

Základní technické parametry [8]:

Rozsah tlaku:	-1 až 6 bar
Přesnost dle IEC 60770:	0,5 % FSO
Provozní rozsah teplot:	-40 až 125 °C
Napájení:	14 až 30 V
Časová odezva:	≤ 3 ms
Mechanické připojení:	7/16"-20 UNF
Materiál:	nerez (ocel)
Rozměry DxŠxV:	80 x 26 x 26 mm
Hmotnost:	120 g



Obr. 21 Snímač tlaku OEM 17.609G.

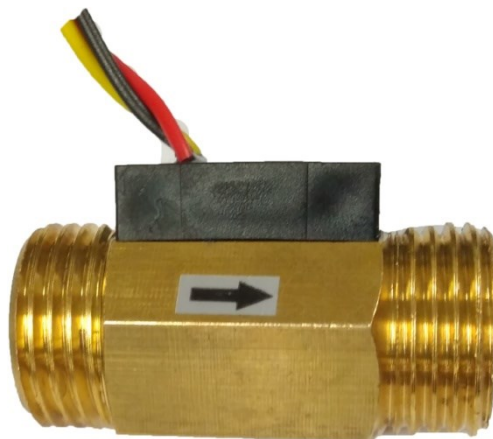
2.2.3 Průtokoměr

K zjištění dodaného a odsátého množství chladicího média jsme použili turbínové průtokoměry.

Průtokoměr se závitem G 1/2“ vstupní větev do motoru

Základní technické parametry [9]:

Měřicí rozsah:	1 až 30 l·min ⁻¹
Povolený tlak:	1,75 MPa
Pracovní napětí:	3 až 18 V
Proud:	15 mA při 5 V
Teplota do:	80 °C
Snímač:	pulsní
Odolnost:	oleje, nafta, voda
Mechanické připojení:	G 1/2“ závit
Rozměry DxŠxV:	49 x 28 x 16 mm



Obr. 22 Průtokoměr G 1/2".

Průtokoměr se závitem G 1 výstupní větvi z motoru

Základní technické parametry[10]:

Měřicí rozsah:	1 až 60 l·min ⁻¹
Povolený tlak:	1,2 MPa
Pracovní napětí:	5 až 24 V
Proud:	15 mA při 5 V
Teplota do:	80 °C
Snímač:	pulzní
Odolnost:	oleje, nafta, voda
Mechanické připojení:	G 1“ závit
Rozměry DxŠxV:	58 x 38 x 37 mm



Obr. 23 Průtokoměr G 1".

2.2.4 SWEP tepelný výměník voda/olej

Deskový pájený výměník B5/20 (Obr. 24) je všestranný a flexibilní produkt, který umožňuje efektivní výměnu tepla v aplikacích s malými průtoky a mimořádně vysokými nároky na kompaktnost řešení. Snadná instalace díky flexibilním rozměrům. Výměník je vhodný pro malé olejové či vodní chladiče [11].

Základní technické parametry [11]:

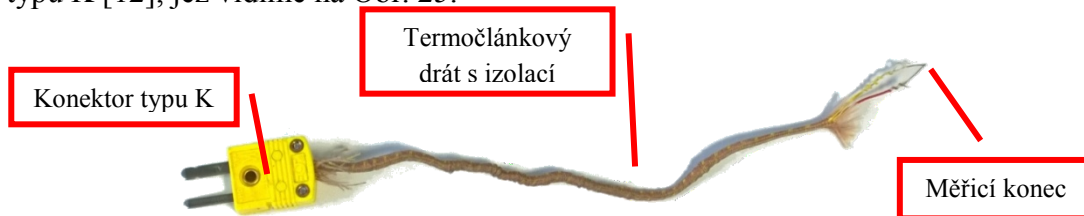
Maximální průtok:	4 l·h ⁻¹
Max. pracovní tlak při 155°C:	31 bar
Zkušební tlak:	50 bar
Vnitřní objem:	0,456 l
Materiál:	nerezová ocel (AlSi 316)
Pájecí materiál:	čistá měď
Spojovací materiál:	nerezová ocel (AlSi 316)
Mechanické připojení:	4 x G 3/4" závit
Rozměry DxŠxV:	187 x 72 x 95 mm



Obr. 24 Tepelný výměník voda/olej.

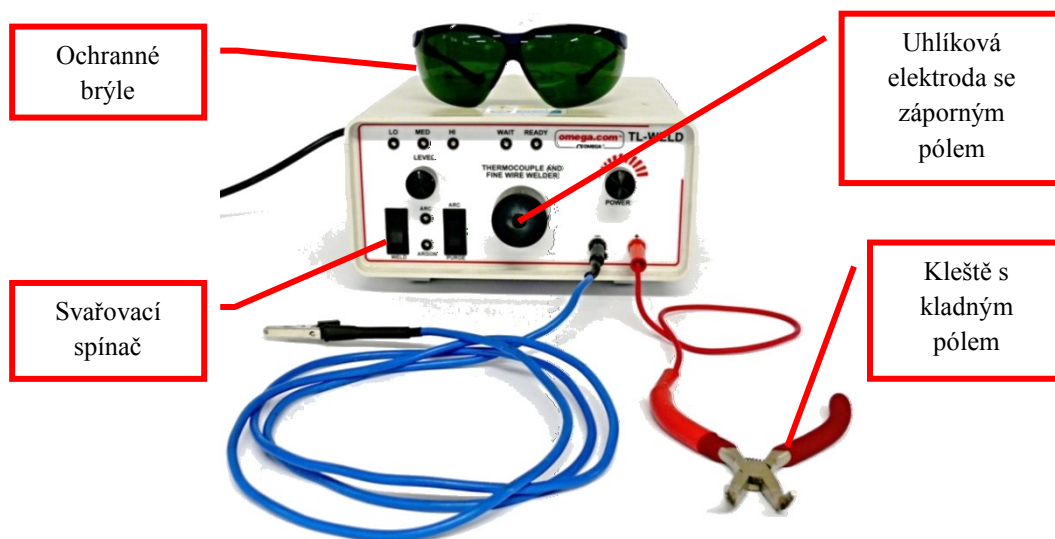
2.2.5 Termočláňkové snímače

Teplota v chladicím okruhu je zaznamenávána termočláňkovým snímačem typu K [12], jež vidíme na Obr. 25.



Obr. 25 Termočláňkový snímač typu K.

Termočláňkové snímače jsme připravili pomocí svařečky termočláňkových drátů TL-WELD (Obr. 26). Termočláňkové dráty se sevrou do kleští s kladným pólem a na dotyk spolu a s uhlíkovou elektrodou se přepnutím svařovacího spínače svaří k sobě, přičemž svarový spoj drátu je měřicím snímačem.



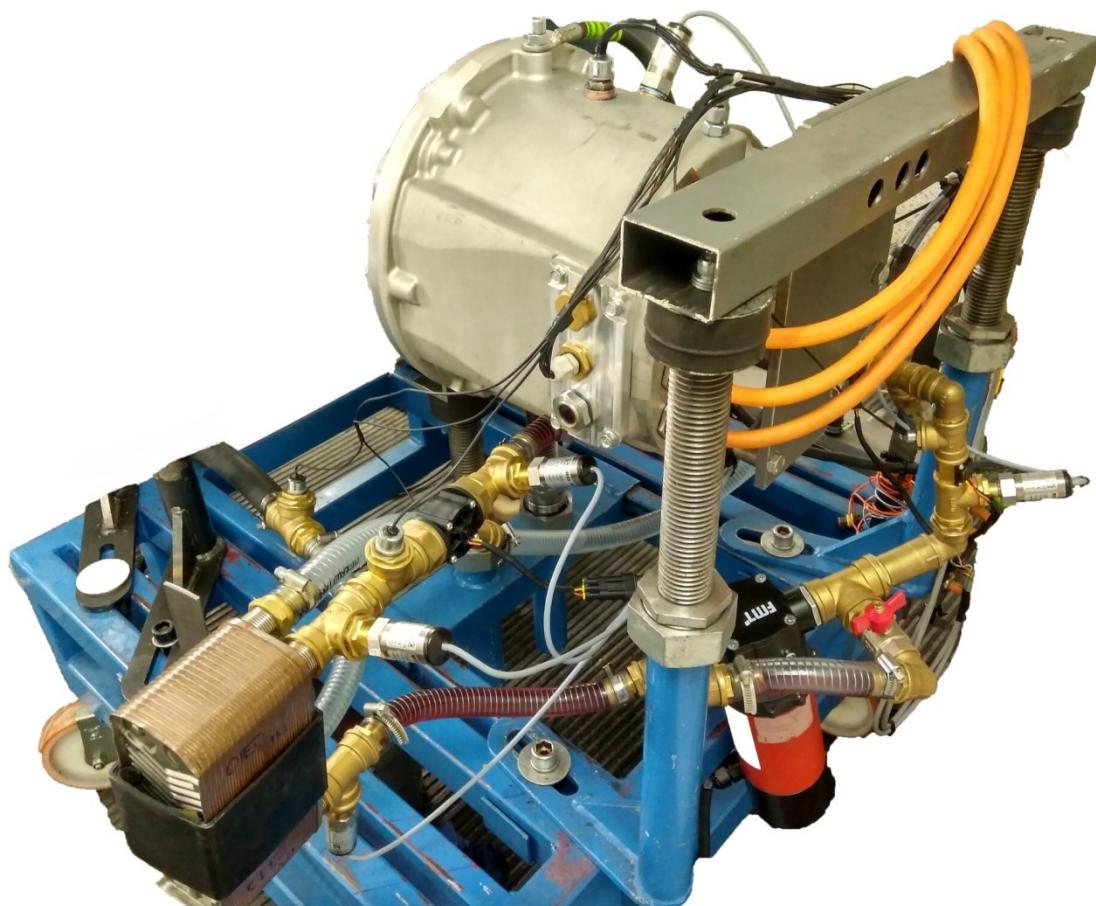
Obr. 26 TL-WELD svařečka termočláňkových drátů.

Základní technické parametry[13]:

Výstupní energie pulzu:	0 až 60 J
Svařovací kapacita:	průměr drátu do 1,1 mm
Počet cyklů:	5 až 10 svarů·min ⁻¹
Zdroj napětí:	220 až 250 V, 50 až 60 Hz
Rozměry DxŠxV:	220 x 120 x 250 mm
Hmotnost:	4 kg

2.3 Praktické provedení uspořádání instrumentované experimentální úlohy pro motorovou brzdu

Praktické uspořádání experimentální úlohy pro změření rozložení teplot, průtoků chladicích medií a jejich tlaků v pohonné jednotce při testování na brzdě je na Obr. 27. Důležitou součástí úlohy je sestava instrumentovaného chladicího systému. V tomto okruhu považujeme jako výchozí bod čerpadlo. Dále následuje tlakoměr za čerpadlem, průtokoměr, snímač teploty a tlakoměr před motorem. Na skřini motoru je osazený další tlakoměr. Na výstupní větvi z motoru se nachází tlakoměr, průtokoměr, teplotní snímač a tlakoměr před tepelným výměníkem a za ním. Poté už je okruh uzavřen zpět do čerpadla.



Obr. 27 Kompletní měřicí sestava chladicího okruhu.

2.3.1 Technologie zatěsnění šroubových spojů

K propojení jednotlivých komponent použijeme mosazný vodo-instalační materiál. Jeho snadná dostupnost a široká škála volitelných parametrů nám umožňuje jednoduché systematické sestavení jakéhokoliv obtokového okruhu. Jedná se zde o šroubový spoj s trubkovým závitem „G“. Těsnost šroubových spojů jsme zajistili použitím anaerobního lepidla na závity LOXEAL 55-03 [14], viz Obr. 28. Konkrétní umístění použitých prvků v chladicím okruhu objasníme podrobněji v následujících podkapitolách.

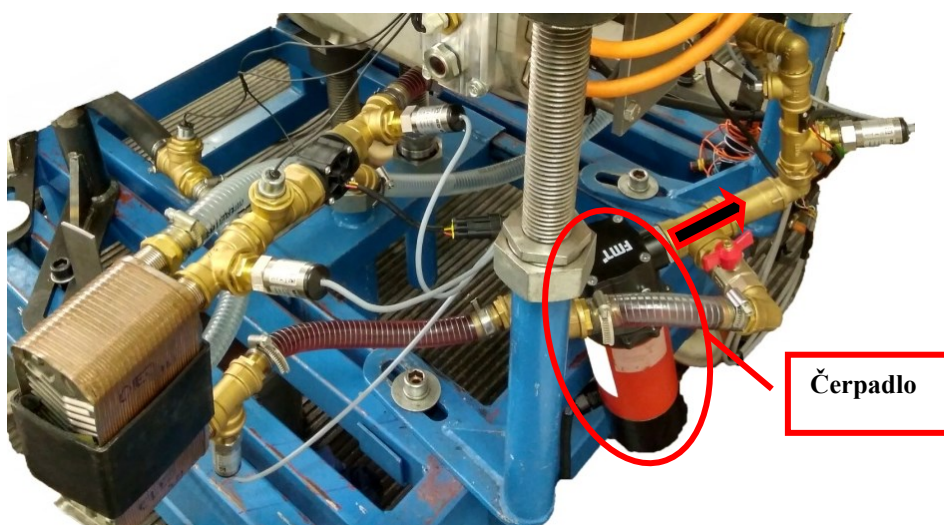


Obr. 28 Lepidlo na závity LOXEAL 55-03.

2.3.2 Pozice čerpadla

Za počátek chladicí soustavy budeme považovat čerpadlo. Nachází se zhruba ve středu okruhu a je na pevně uchyceno k montážnímu vozíku. Přípojka na obou stranách má vnitřní trubkový závit G 1“, a je redukován z G 1“ na G 3/4“.

Po směru proudění posloupně značíme každé měřicí zařízení zvlášť. Pozici čerpadla můžeme vidět na Obr. 29.



Obr. 29 Čerpadlo v sestavě.

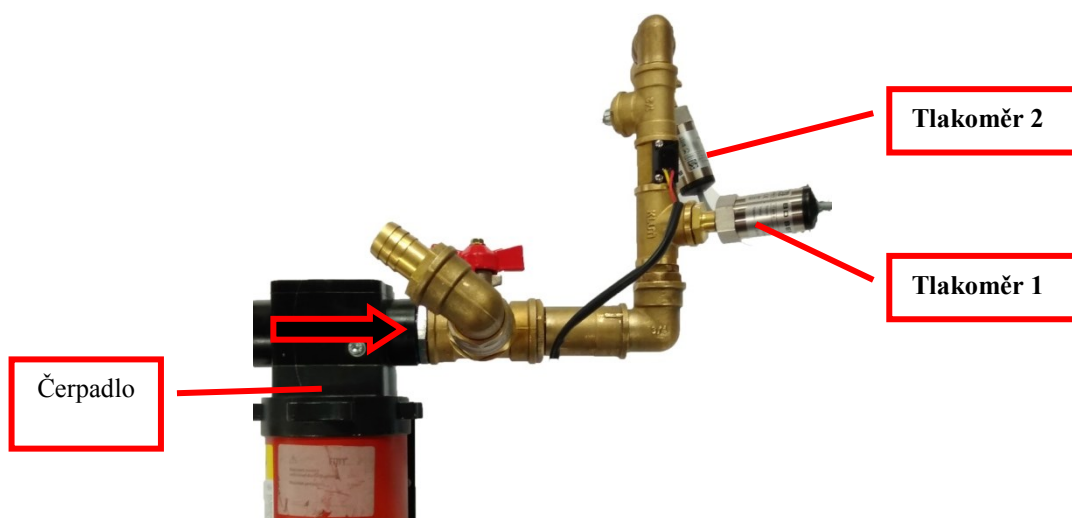
2.3.3 Montáž snímačů tlaků

Chladicí soustava obsahuje celkem 6 snímačů tlaků rozmístěných v celém okruhu. Snímače jsou šroubovým spojem upevněny k redukci vytvořené z hadičníku. Jedná se o mosazný hadičník s vnějším závitem $\frac{1}{2}'' \times 14 \text{ mm}$, kde jsme do vyústující části vytvořili strojním závitníkem závit $\frac{7}{16}''-20 \text{ UNF}$. Spojení redukce se snímačem bylo zajištěno lepidlem na závity. Vytvořenou redukci vidíme na Obr. 30.



Obr. 30 Redukce snímačů tlaků.

První snímač se nachází na armatuře chladicí větve za čerpadlem po směru proudění. Druhý také, ale před vstupem chladicí kapaliny do motoru, jak je možné vidět na Obr. 31.



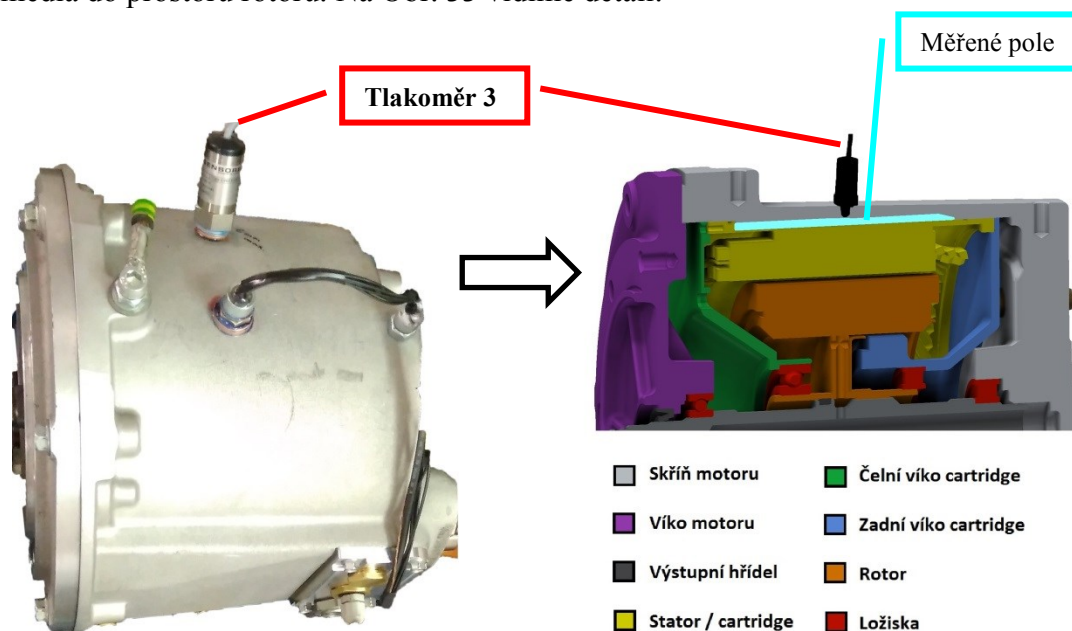
Obr. 31 Pozice 1. a 2. snímače tlaku.

Třetí snímač tlaku je umístěn na vrchní části motoru. Zde byl proveden zásah do skříně motoru, kde byl třeba udělat závit 7/16"-20 UNF (Obr. 32) pro montáž snímače, protože se jedná o část chladicího okruhu, ve kterém je tlak. Pro zajištění šroubového spoje bylo použito lepidlo na závity LOXEAL 55-03 (Obr. 28).



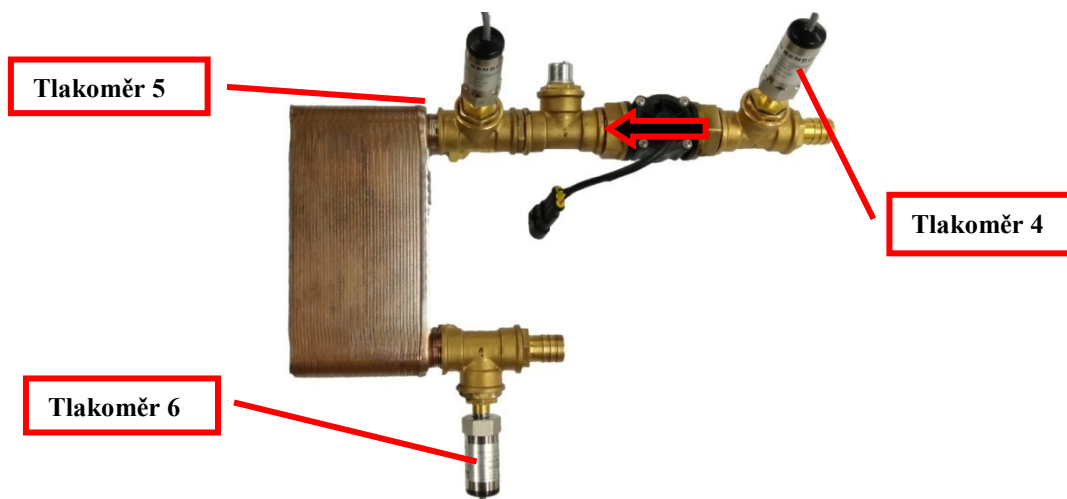
Obr. 32 Závit 7/16"-20 UNF ve skříní motoru.

Třetí tlakoměr snímá tlak mezi vstupem do motoru a před průnikem chladicího média do prostoru rotoru. Na Obr. 33 vidíme detail.



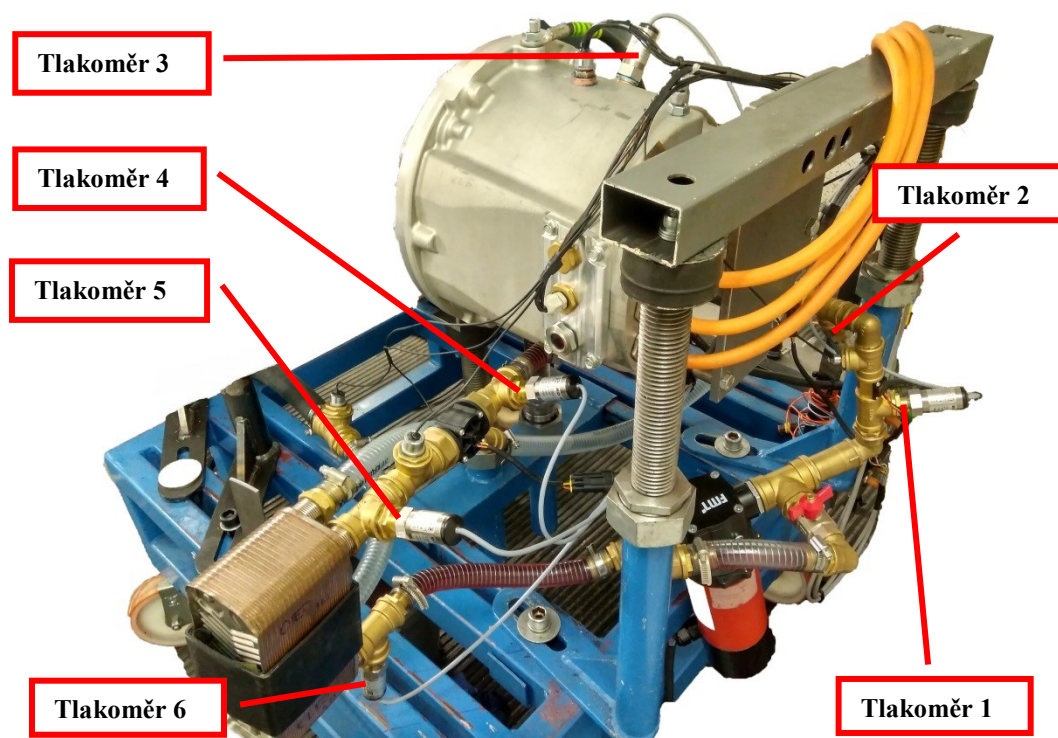
Obr. 33 Pozice 3. snímače tlaku.

Další snímače jsou umístěny na výstupní větvi chladicího okruhu. Čtvrtý snímač je hned za vyústěním kapaliny z motoru a pátý snímač je za průtokoměrem a termočlánkem a před tepelným výměníkem. Poslední, šestý, se nachází za výměníkem a před čerpadlem, jak je možno vidět na Obr. 34.



Obr. 34 Pozice 4., 5. a 6. tlakového snímače.

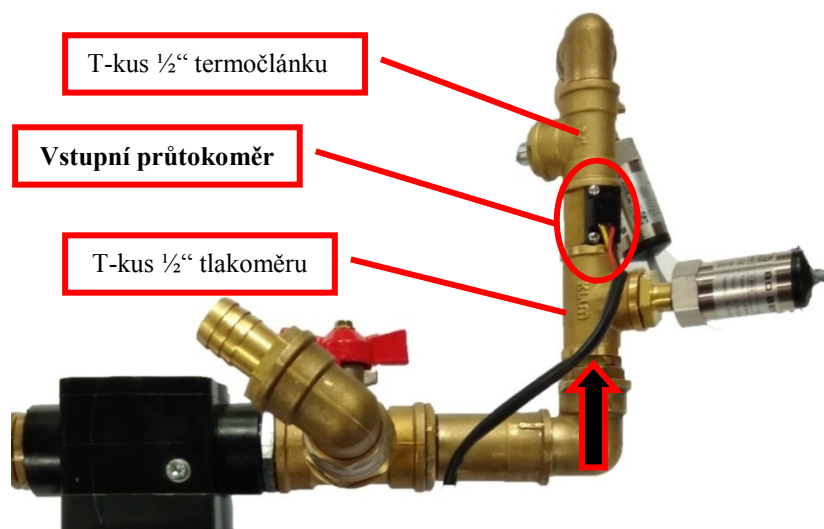
Kompletní sestavu tlakoměru v okruhu vidíme na Obr. 35.



Obr. 35 Pozice snímačů tlaku.

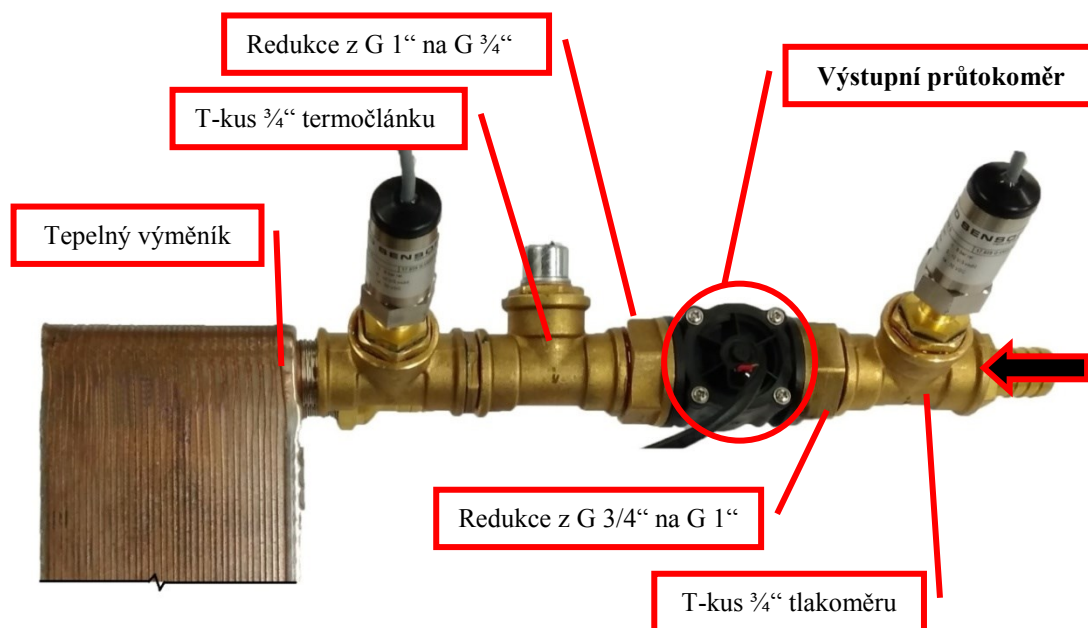
2.3.4 Montáž průtokoměrů

Vstupní průtokoměr se šroubením G 1/2" je na přívodní chladicí větvi motoru. Je vešroubován mezi dva T-kusy 1/2" pro tlakoměr a snímač teploty, jak vidíme na Obr. 36. Šroubový spoj je zajištěn lepidlem na závity.



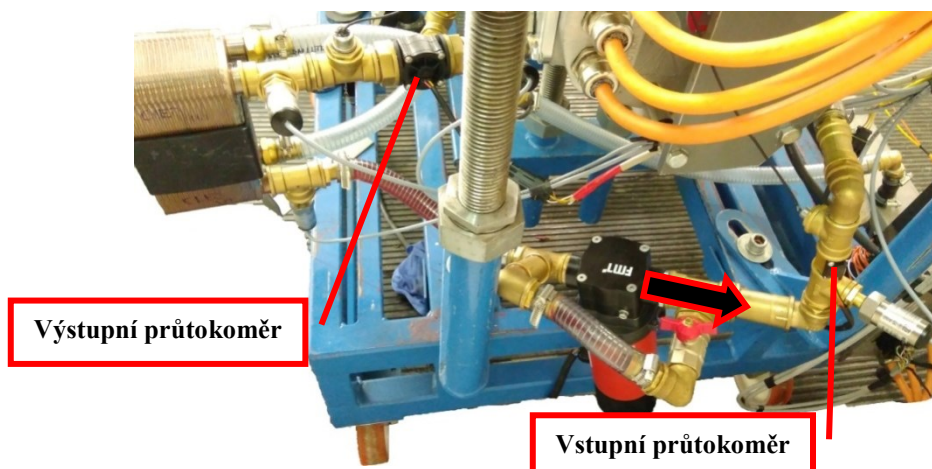
Obr. 36 Umístění vstupního průtokoměru.

Výstupní průtokoměr se šroubením G 1" je na výstupní větvi motoru. Přes redukci z G 1" na G 3/4" je vešroubován mezi dva T-kusy pro snímač tlaku a teploty. Montážní celek vidíme na Obr. 37. Šroubový spoj zajišťuje lepidlo na závity.



Obr. 37 Umístění výstupního průtokoměru.

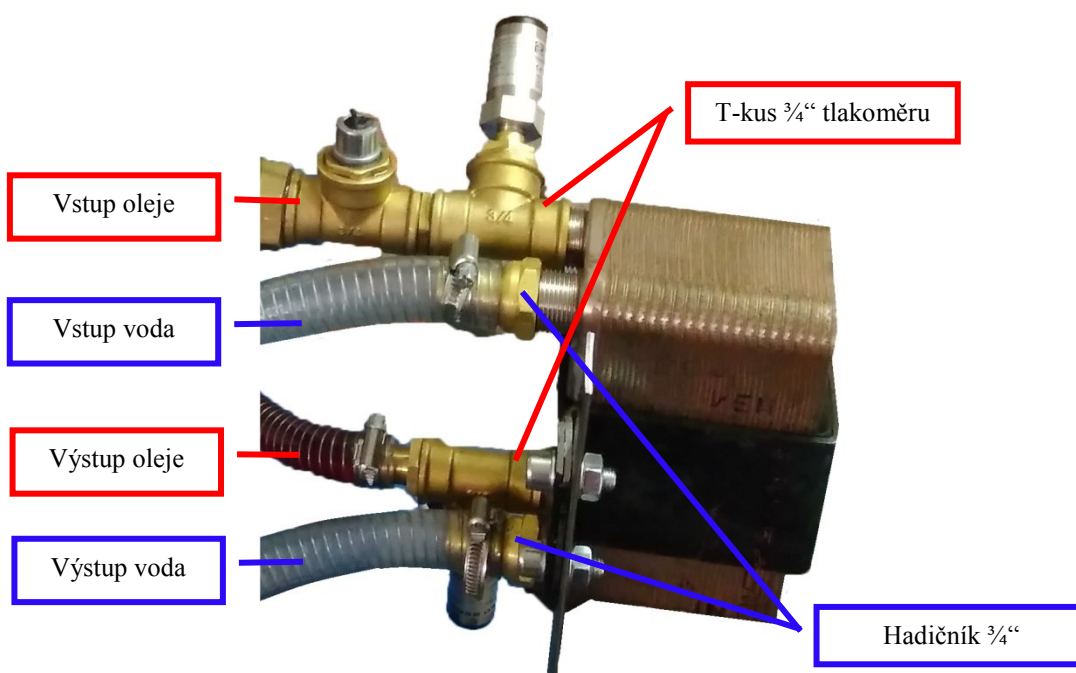
Pozice obou průtokoměrů v celém chladicím okruhu vidíme na Obr. 38.



Obr. 38 Pozice průtokoměrů.

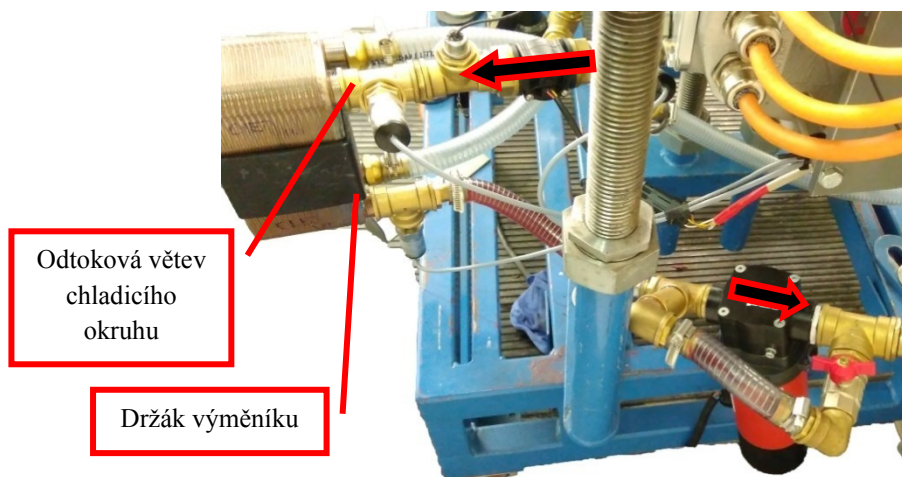
2.3.5 Montáž tepelného výměníku voda / olej

Výměník má 4 vyústění s vnějším závitem G $\frac{3}{4}$ ". Dvě jsou pro vodní okruh a dvě pro olejový okruh. Na Obr. 39 vidíme připojení vodního okruhu pomocí našroubovaných hadičníků $\frac{3}{4}$ " s vyústěním 20 mm a vnitřním závitem, na které jsou napojeny hadice. Připojení olejového okruhu je našroubováním T-kusů $\frac{3}{4}$ ", ve kterých jsou umístěny snímače tlaku.



Obr. 39 Připojení tepelného výměníku.

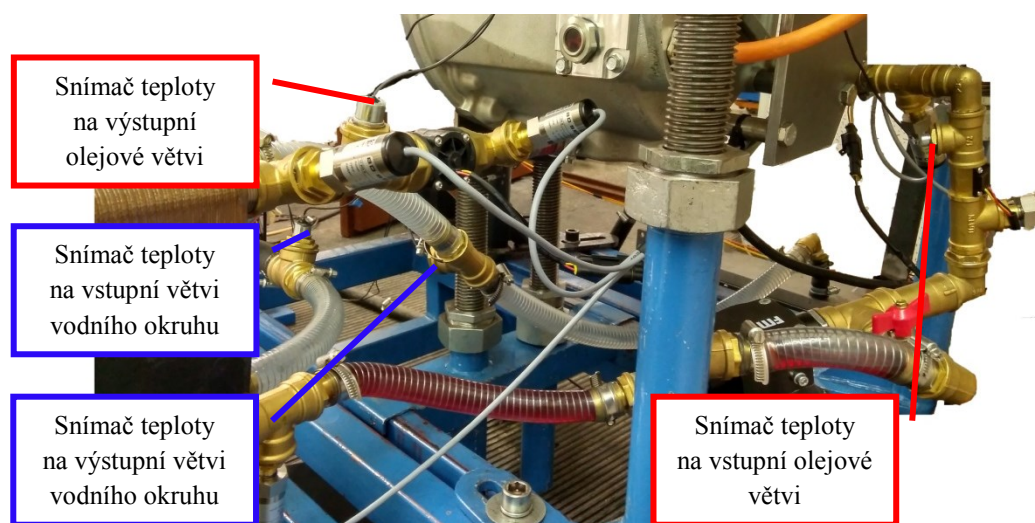
Výměník se nachází na odtokové větvi, mezi motorem a čerpadlem. Pomocí držáku je přichycen k montážnímu vozíku, čím i znehybňuje výstupní větev. Pozici výměníku vidíme na Obr. 40.



Obr. 40 Pozice tepelného výměníku voda / olej.

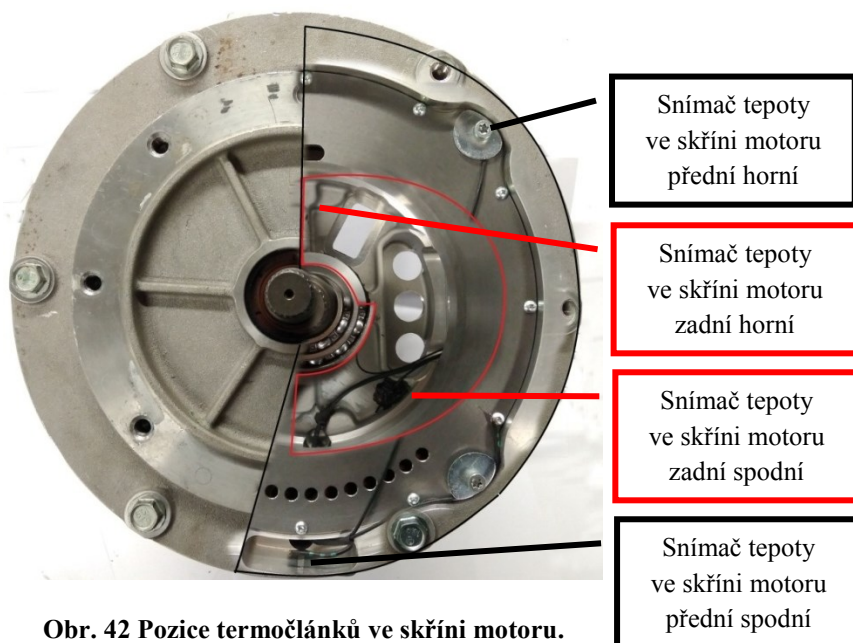
2.3.6 Montáž termočlánkových snímačů

Termočlánkových snímačů se v chladicím systému nachází celkem 16. Čtyři termočlánky jsou umístěny mimo motor. Dva v olejovém okruhu na vstupní a výstupní větvi chladicího okruhu. Další dva na chladicím vodním okruhu. Porovnáním dat z těchto čtyř snímačů zjistíme teplotní spád tepelného výměníku. Tyto snímače vidíme na Obr. 41.



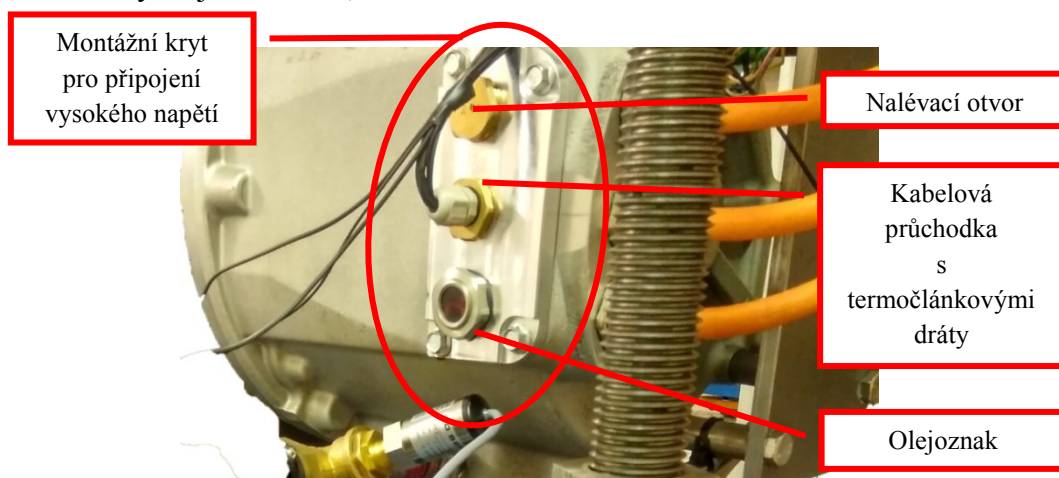
Obr. 41 Pozice vstupního a výstupního termočlánku.

Zbývajících 12 termočlánkových snímačů je osazeno v motoru. Z toho čtyři snímače jsou přímo ve skříni motoru. Dva se nacházejí ve vrchní části a dva ve spodní části. Termočlánkové dráty jsou uchyceny ke skříni lepeným spojem pomocí dvousložkového lepidla SPT Professional 05. Rozmístění snímačů je vidět na Obr. 42.



Obr. 42 Pozice termočlánků ve skříni motoru.

Vývod pro kabeláž termočlánku je realizován přes kabelovou průchodku umístěnou do montážního krytu pro připojení vysokého napětí, jež se nachází na boční straně skříně motoru. V tomto krytu je umístěný i nalévací otvor a olejoznak ke kontrole stavu hladiny oleje v motoru, viz Obr. 43.

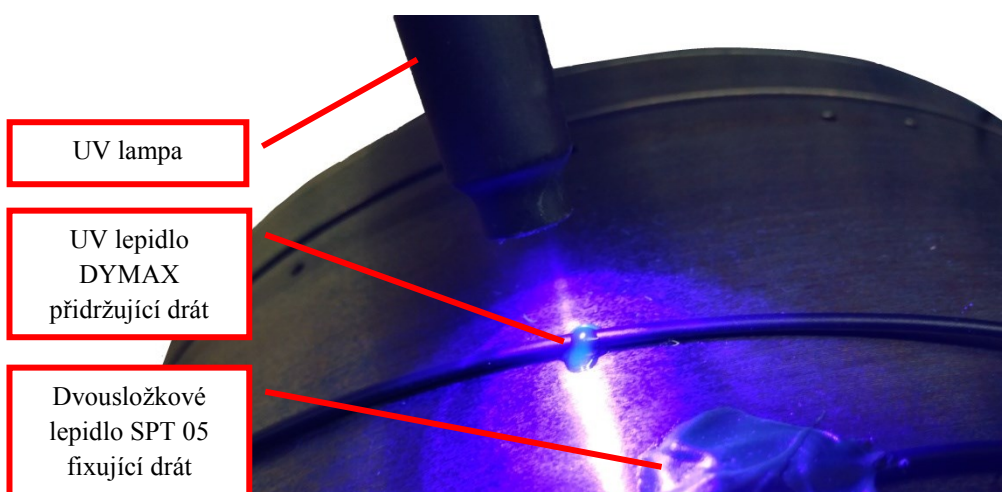


Obr. 43 Montážní kryt pro připojení vysokého napětí.

Posledních osm termočlánků je umístěno na plášti cartridge. Termočláňkové dráty jsou přichyceny na povrch cartridge lepeným spojem, a to dvěma typy lepidel. První lepidlo je DYMAX 3225-T-SC[15] (Obr. 44). Jedná se o UV zářením vytvrditelné lepidlo. Je určeno k lepení plastů, kovů a jejich kombinací. Toto lepidlo jsme užili z důvodu rychlého vytvrzení v řádech sekund při ozáření UV lampou, viz Obr. 45. Drát je fixován a připraven na lepení druhým lepidlem SPT Professional 5 [16], které má dobu vytvrzení v řádech desítek minut, přičemž by se nám drát mohl snadno dostat do pozice jiné, než požadujeme. Druhé lepidlo aplikujeme z důvodu lepší odolnosti vyšších teplot a chemických vlivů kapaliny.

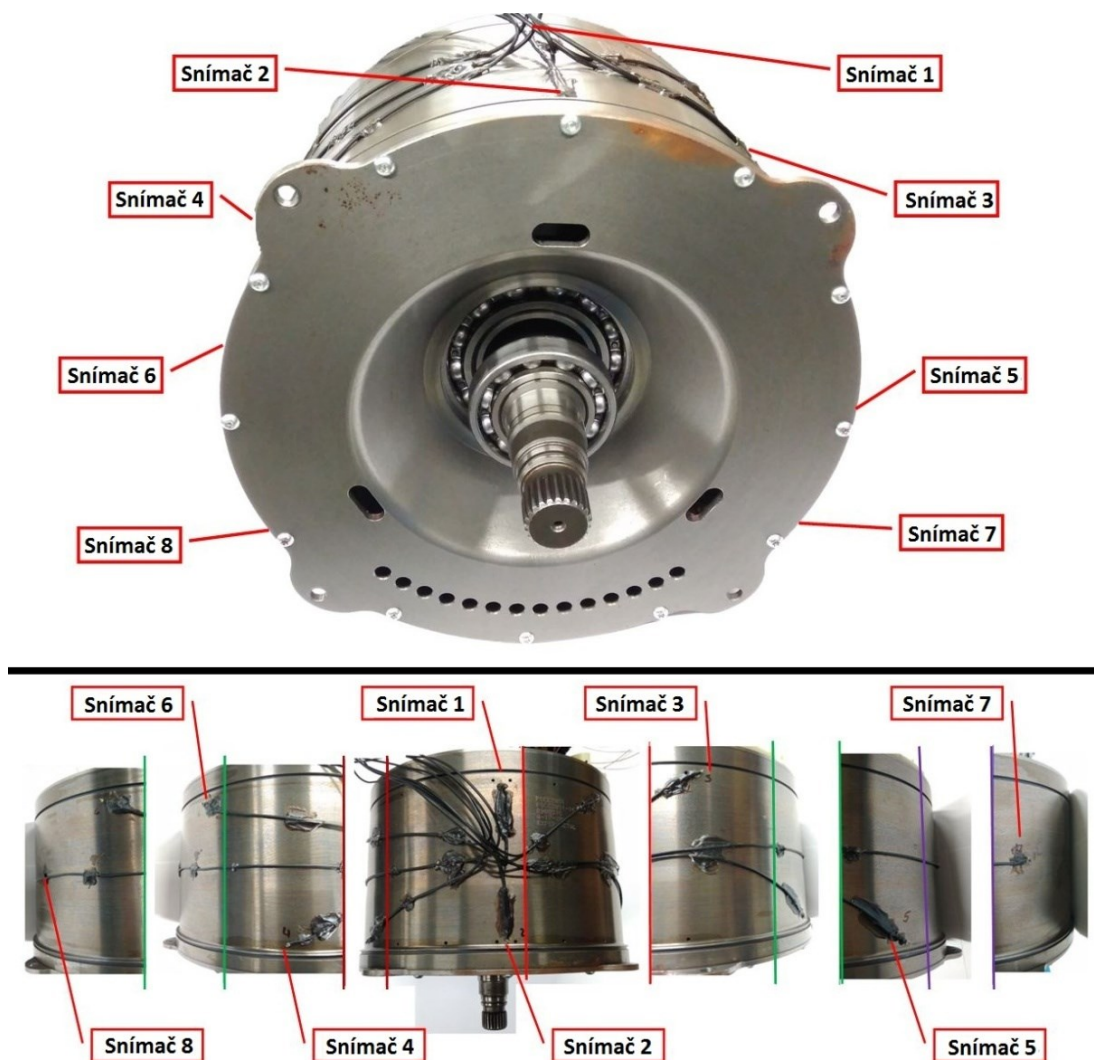


Obr. 44 UV lepidlo DYMAX 3225-T-SC.




Obr. 45 UV lepený spoj.

Rozmístění termočlánekových snímačů na plášti cartridge a jejich číslovaný popis z čelního a horního pohledu vidíme na Obr. 46.



Obr. 46 Poloha termočlánekových snímačů na cartridge.



This photograph shows a close-up of a metallic component, likely a manifold or valve assembly, with several fittings and labels. Red lines connect the labels to the corresponding parts of the assembly.

- Dutý šroub M10 s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem**: A hollow screw with a hexagonal base, used for mounting.
- Redukční vsuvka G 3/8" na M10**: A reducer fitting that connects a G 3/8" thread to an M10 thread.
- Termočlánkové dráty**: Thermocouple wires connected to the assembly.
- Pryskyřice**: A sealant or adhesive used for sealing the joints.
- Lepidlo na závity LOXEAL 55-03**: A threadlocker (Loxal 55-03) applied to the threads of the screw.
- Měděné distanční podložky**: Copper spacers used to maintain a specific distance between components.

57

2.4 Popis měřicí soustavy upraveného chladicího okruhu

Měření proběhlo na hydrodynamické brzdě SuperFlow SF-902, s jejíž pomocí proběhla simulace jízdních odporů, které vycházely z naměřených jízdních režimů.

Na brzdě probíhalo testování simulovaných jízdních režimu. Propojení mezi absorbérem a motorem prováděla převodová skříň, z důvodu ověření zda hydrodynamický absorbér, ubrzdí trakční elektromotor v nízkých hodnotách testovaných otáček. Po kladném výsledku jsme dále brzdili s převodovým poměrem 1:1. Měřený olejový okruh motoru je chlazen průtokovým médiem Dexron VI. Frekvenční měnič je na okruhu vodním. O napájení motoru se stará usměrňovač RECT_01 se jmenovitým napětím 540 V. Jedná se o 3 fázový usměrňovač 3 x 400 V s vyhlazovacími kondenzátory, kde výstupem je stejnosměrné napětí 540 V.

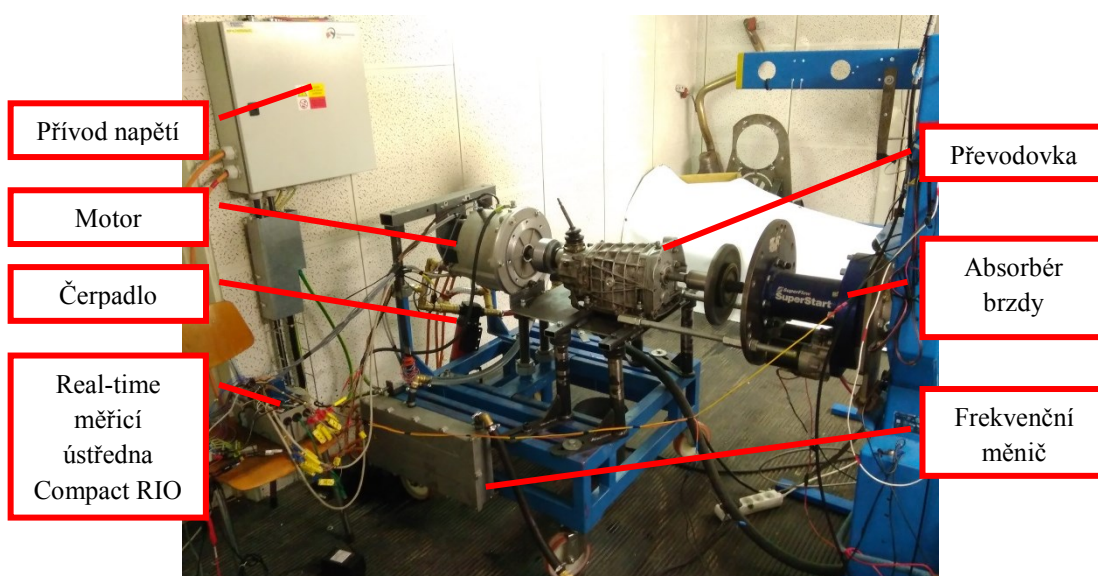
Základní technické parametry:

Proud vstupní:	3 x 200 A
Proud výstupní:	250 A
Napětí vstupní:	3 x 400 V AC
Napětí výstupní:	540 V DC
Výrobce:	EVC Group s.r.o.



Obr. 48 Zdroj napětí – usměrňovač RECT_01.

Podrobný popis měřicí soustavy je vidět na Obr. 49.



Obr. 49 Měřicí soustava upraveného chladicího okruhu.

2.4.1 Popis brzdy

Jedna se pasivní brzdu s hydrodynamickým absorbérem, řízením zátěže na výstupu [16]. Hydrodynamický absorber brzdy pracuje jako dvoustupňové odstředivé čerpadlo. Silová reakce bržděného motoru se přenáší na skříň absorberu pomocí tření v kapalině. Řízení je realizováno jednak pomocí ručně stavitelného ventilu na prvním stupni a dále pak pomocí elektrického servoventilu na druhém stupni [17]. Hydrodynamickou brzdou SuperFlow SF-902 vidíme na Obr. 50.



Obr. 50 Hydrodynamická brzda SuperFlow SF-902 [16].

Základní technické parametry [16]:

Přesnost kalibrace krouticího momentu:	$\pm 0,25 \%FS$
Kontinuální otáčky:	$9\,000\text{ ot}\cdot\text{min}^{-1}$
Maximální otáčky:	$15\,000\text{ ot}\cdot\text{min}^{-1}$
Minimální výkon:	15 kW
Maximální výkon:	1125 kW
Maximální krouticí moment:	1356 N·m
Maximální teplota výstupu vody:	65 °C
Požadovaný průtok vody:	$39,1\text{ L}\cdot\text{kW}^{-1}\cdot\text{hod}^{-1}$
Min. přívodní tlaku vody:	2,75 bar

Popis ovládání

Pult operátora má za úkol komunikaci obsluhy se systémem brzdy. Ovládací panel zahrnuje dva LCD barevné displeje s 15 softwarovými definovanými klávesami, číselný blok klávesnice PC pro zavádění dat, klávesnice pro zavádění dat, a tři datové knoflíky vstupu. Nižší část ovládacího panelu zahrnuje motorové hlavní vypínače absorbéru včetně zátěžového řízení motoru. Ovládací panel zahrnuje klíčový ovládaný hlavní silnoproudý spínač a nouzový vypínač. Komunikace je udělaná skrz RS422 sériové kabely ty připojí k senzorovému systému a přenosům regulaci výkonu k senzorovému boxu s klíčem vypínačem.



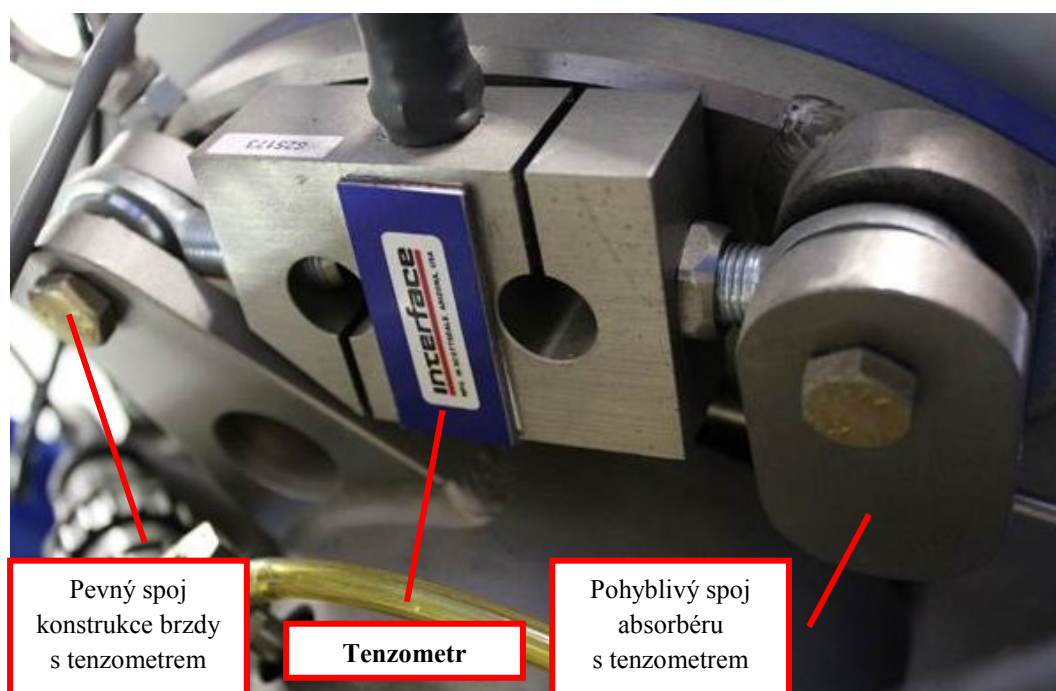
Obr. 51 Panel operátora brzdy SuperFlow.

Kalibrace

Při každé výměně měřeného motoru na motorové brzdě je důležité znovu kalibrovat tenzometr krouticího momentu, aby brzda zobrazovala správné hodnoty krouticího momentu. Základní kalibrace tenzometru je důležitá pro dobrou opakovatelnost testů.

Tenzometr pro měření krouticího momentu

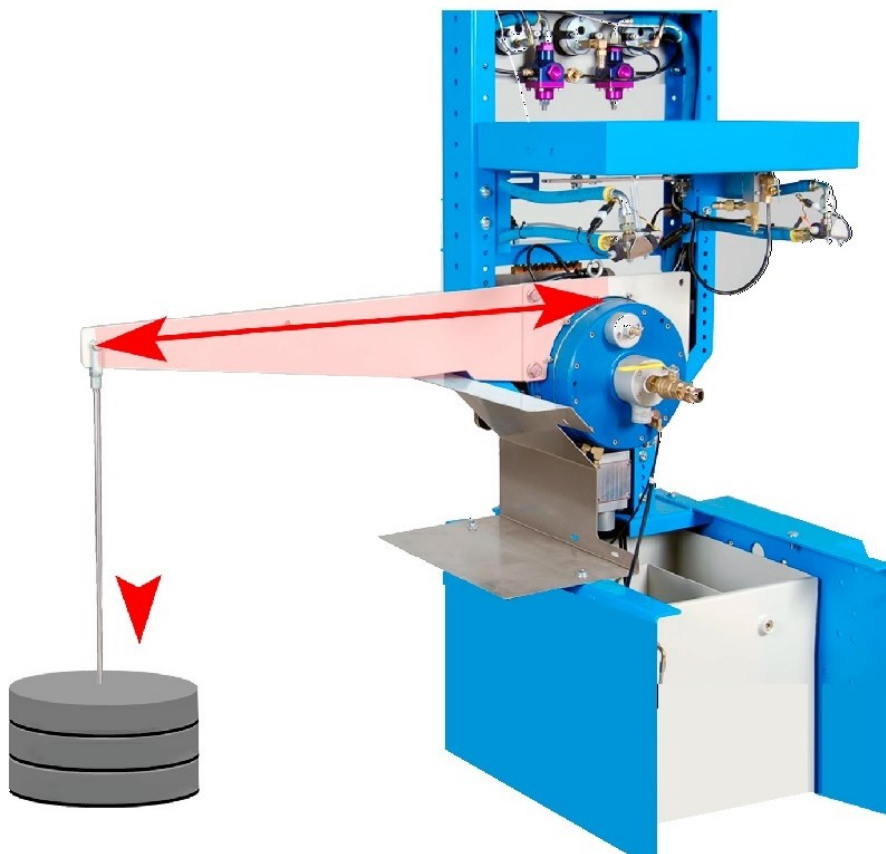
Tenzometr je pasivní elektrotechnická součástka používaná k nepřímému měření mechanického napětí na povrchu součásti prostřednictvím měření její deformace. Tenzometr motorové brzdy je teplotně kompenzován. V tomto případě tenzometr měří sílu na konstantní známé páce, viz Obr. 53. Motorová brzda tedy dostává informaci o síle a počítá z ní krouticí moment. Tenzometr přenáší (a tím se deformuje) silovou reakci mezi rámem brzdy a skříní absorbéru, který je upevněn na brzdě vazbou, která mu otáčení kolem jeho osy rotace [17], viz Obr. 52.



Obr. 52 Tenzometr motorové brzdy SF-902 [17].

Postup kalibrace tenzometru:

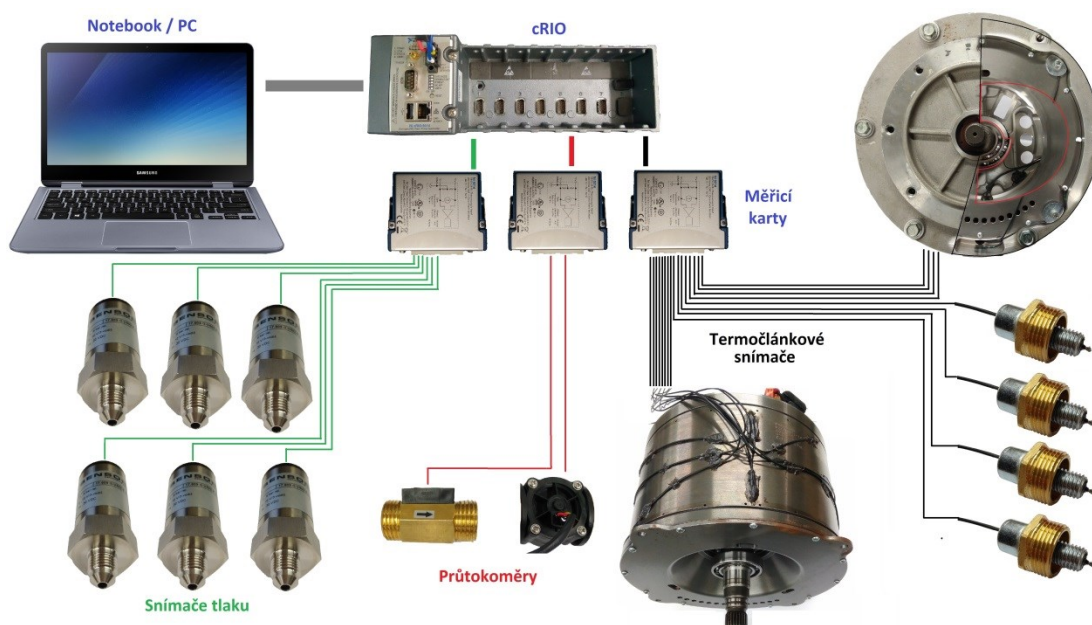
Kalibrace se provádí pomocí kalibračního ramene a závaží, Pro výpočet momentu působícího na tenzometr užijeme délku ramene, hmotnost závaží a tíhové zrychlení. Vypočtený moment pootočí se skříní absorberu a vyvolá tak deformaci tenzometru.



Obr. 53 Kalibrace SF-902 [17].

2.4.2 Popis měřicího řetězce

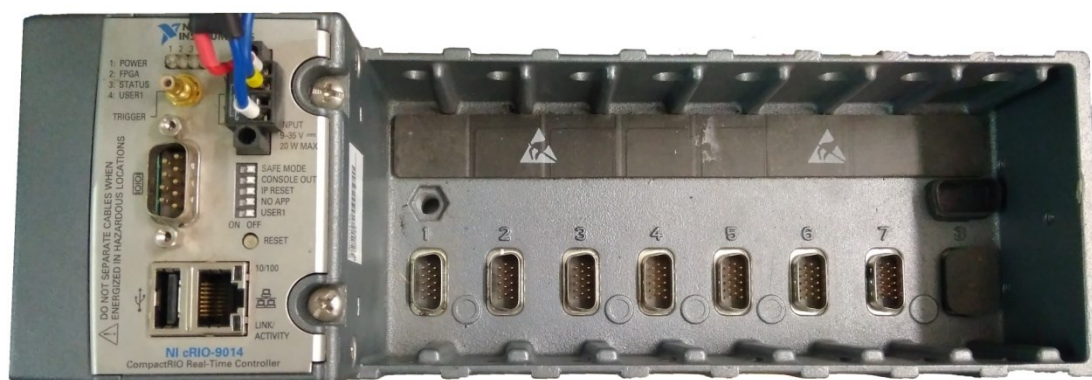
V měřicím řetězci se nachází notebook, který komunikuje s jednotkou Compact RIO. V této jednotce jsou zapojeny tři měřicí karty a jedna komunikační karta. Každá karta je pro příslušnou skupinu snímačů. Do měřicí karty pro snímání teploty (NI cRIO - 9214) je zapojeno 16 termočlánků, což je i maximum, se kterým umí tato karta pracovat. K následujícím dvěma kartám (NI cRIO - 9215) jsou připojeny dva průtokoměry a šest snímačů tlaků. Komunikační karta (NI cRIO – 9853) zde slouží pro propojení ústředny cRIO s frekvenčním měničem motoru. Zařízení komunikují přes průmyslovou sběrnici CAN BUS. Ta je jednoduchá, rychlá a odolná proti rušení. Velmi často se využívá i v automobilech. Elektromotor je tak ovládán přes měřicí ústřednu přímo z notebooku. Měnič nám poskytuje často až 100x za sekundu spoustu informací o aktuálním stavu motoru jako je jeho teplota, protékající proud, aktuální točivý moment a otáčky motoru. Velkou výhodou této konfigurace je, že měřené parametry motoru z CAN sběrnice jsou synchronizovány s připojenými analogovými snímači a prezentovány v jednom naměřeném souboru. Celé schematické zapojení vidíme na Obr. 54.



Obr. 54 Schéma měřicího řetězce.

Měřicí stanice Compact RIO

Pro měření v reálném čase použijeme jednotku cRIO (Compact Reconfigurable Input Output). Toto zařízení se skládá z controlleru (NI cRIO - 9014) a boxu (NI cRIO - 9104), do kterého se zasouvají I/O moduly a v němž je programovatelné hradlové pole (FPGA). Controller obsahuje 128 MB paměť DRAM, 2 GB flash paměť pro ukládání dat aplikací a průmyslový procesor o frekvenci 200 MHz. Je zde i speciální operační systém. Stanice je vybavena portem RS-232, USB a konektorem RJ-45 pro síťovou komunikaci. Pro napájení se používá stejnosměrné napětí 9 až 30 V [18].



Obr. 55 Měřicí stanice cRio 9014 s boxem 9104.

Toto zařízení bylo zvoleno pro přesnost a variabilitu možností použití různých I/O modulů. Může být přímo ovládáno počítačem, ale může také pracovat nezávisle na ostatních zařízeních. Skládá se ze dvou částí. RT část, kde je procesor a speciální operační systém, který umožňuje přesnější vzorkování než to, které je možné dosáhnout na operačních systémech klasických počítačů. Přesné vzorkování je potřebné pro přesné měření. Druhá část je FPGA – část, která přímo komunikuje s I/O moduly. Tato umožňuje ještě přesnější vzorkování než RT část cRIO [18].

Modul NI cRIO – 9215

Je to univerzální vstupní čtyř kanálová analogová karta pro měření napětí v rozsahu od -10 do +10V. Je vybavena čtyřmi paralelními 16-Bit A/D převodníky, což ve spojení s hradlovým polem umožňuje přesné měření napětí na všech kanálech a ve stejném okamžiku. Karta je pro naše měření i dostatečně rychlá, umožňuje měřit frekvenci až 420 kHz. Můžeme tak k ní přivést i signály z průtokoměrů. Ty vyžadují velmi rychlé měření napěťových pulzů jejichž frekvence je závislá na průtoku tekutiny. Výstupem snímačů tlaku je napětí úměrné měřenému tlaku. Karta může být použita v teplotním rozsahu od -40 do +70 °C.

Modul NI cRIO – 9853

Tento modul umožňuje měřicí ústředně cRIO komunikovat s externími zařízeními (frekvenčním měničem motoru) přes sběrnici CAN BUS. Obsahuje dva nezávislé porty, na kterých může být nastavena různá rychlost komunikace. V tomto případě nám stačil jeden port s rychlostí komunikace 1 MBit/s, což je také maximální rychlost CAN sběrnice.

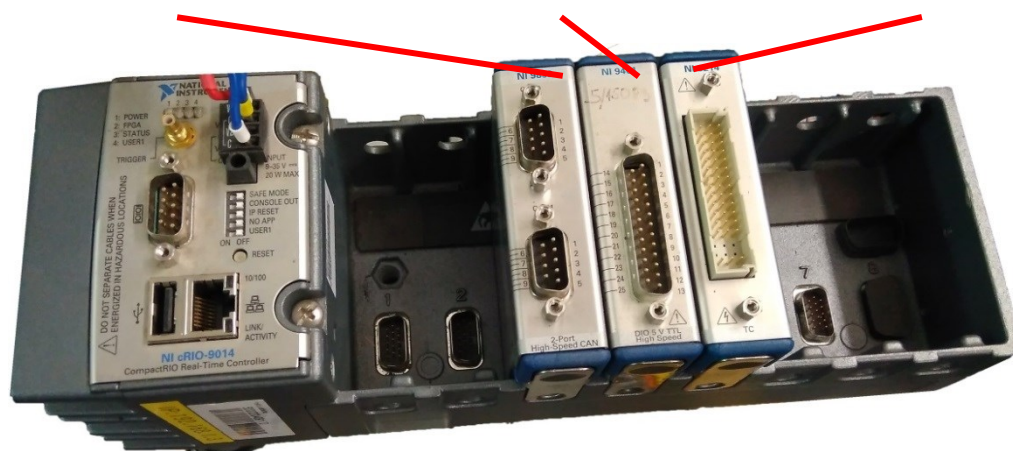
Modul NI cRIO – 9214

Modul pro připojení až 16 termočlánků. Umožňuje získávat až 68 vzorků za sekundu v teplotním rozsahu od -40 do +70°C. Přesnost měření je zajištěna 24-Bit převodníkem. Dokáže měřit s frekvencí vyšší než 1 kHz.

Modul NI cRIO – 9853

Modul NI cRIO – 9215

Modul NI cRIO – 9214



Obr. 56 Měřicí karty v boxu měřicí stanice cRIO.

3. REALIZACE NAVRŽENÉ EXPERIMENTÁLNÍ ÚLOHY

V rámci realizace práce byly vytvořeny jízdní režimy. Měření bylo provedeno opakovaně 3krát. Na začátku měření byl motor vždy studený. Před každým startem jsme uvedli do provozu chladicí okruhy. Motor byl měřen v rozsahu od 300 do 8500 ot·min⁻¹. Po provedení testů došlo k odlehčení zátěže motoru z důvodu ochlazení soustavy. Byly realizovány tyto druhy testů:

1. Testy přechodového stavu - motor byl z nulové rychlosti roztočen na otáčky odpovídající požadované rychlosti. Tyto otáčky pak byly udržovány po dobu nutnou pro dosažení ustálené hodnoty měřených teplot. Ustálení bereme z termočláňkového snímače umístěného výrobcem přímo ve statoru. Konkrétní parametry testů a naměřené výsledky jsou popsány v kapitole 3.1.
2. Testovací režimy – vycházející z jízdních zkoušek, pro vytvoření simulace jízdních odporů jsme využili automatickou regulaci brzdy SF-902. test byl parametrizován otáčkami vycházejícími z požadované rychlosti a k tomu příslušející požadavek na výkon resp. krouticí moment testovaného agregátu. Konkrétní parametry testů a naměřené výsledky jsou popsány v kapitole 3.2.
3. Test změny závislosti na otáčkách motoru – test je bez zatížení brzdným účinkem. Motor je roztočen z 0 do 8500 ot·min⁻¹. Jde o závislost průtoku a tlaku na otáčkách motoru. Konkrétní parametry testů a naměřené výsledky jsou popsány v kapitole 3.3.

V následujících grafech měřených režimů si můžeme povšimnout rozkmitaných křivek. Toto se děje z několika příčin. Jednou z nich je pulzování kapaliny v chladicím olejovém okruhu a to od lopatek lamelového čerpadla. Tento projev je výrazný u snímačů tlaků v blízkosti čerpadla a průtokoměru. Další z vlivu je šum vyvolaný elektromagnetickým polem při proměnlivým točením elektromotoru, který bude mít vliv především na termočláňkové sondy.

Pro simulaci rychlosti potřebujeme přepočítat na otáčky motoru. Ten je uzpůsoben stejně jako na voze SCX 3,5. Zde je do vzorce započten převodový poměr úhlových převodovek a průměr použitých disků s pneumatikami. Tabulku přepočtu vidíme na Obr. 57.

Rychlost	Ot. kola	Ot. Motoru převod 3,9
[km/h]	[ot./min]	[ot./min]
10	84	327,6
20	168	655,2
25	210	819
30	251	978,9
40	335	1306,5
50	418	1630,2
60	503	1961,7
70	586	2285,4
80	670	2613
90	754	2940,6
100	837	3264,3
110	921	3591,9
120	1005	3919,5
130	1088	4243,2

Obr. 57 Tabulka přepočtu rychlosti na otáčky.

3.1 Testy přechodového stavu

Jízdní režim - Přechodový stav 0 až 50 km·h⁻¹ - z nulové rychlosti točíme motor na rychlost 50 km·h⁻¹ a udržujeme jej na této rychlosti. Motor se točil do doby ustálení měřených teplot.

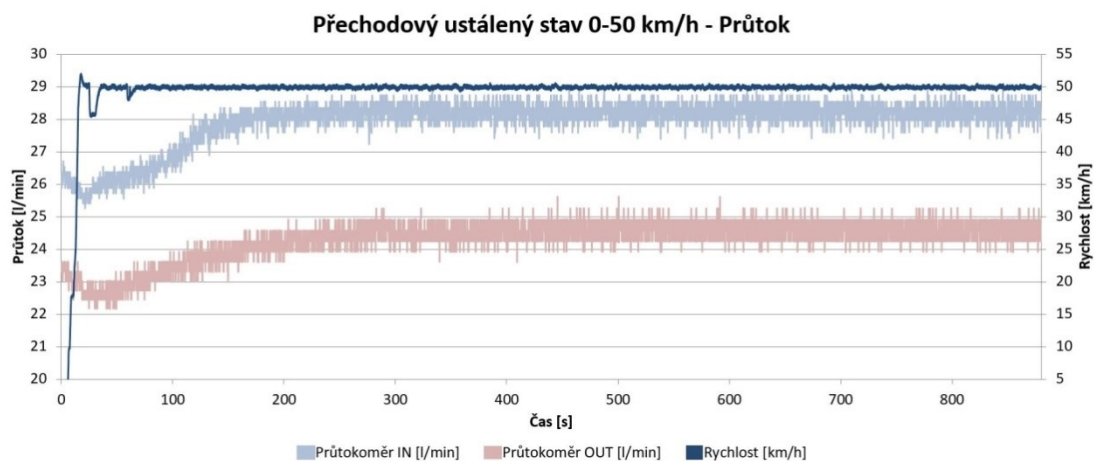
Jízdní režim - Přechodový stav 0 až 90 km·h⁻¹ - z nulové rychlosti točíme motor na rychlost 90 km·h⁻¹ a udržujeme jej na této rychlosti. Motor se točil do doby ustálení měřených teplot.

Jízdní režim - Přechodový stav 0 až 125 km·h⁻¹ - z nulové rychlosti točíme motor na rychlost 125 km·h⁻¹ a udržujeme jej na této rychlosti. Motor se točil do doby ustálení měřených teplot.

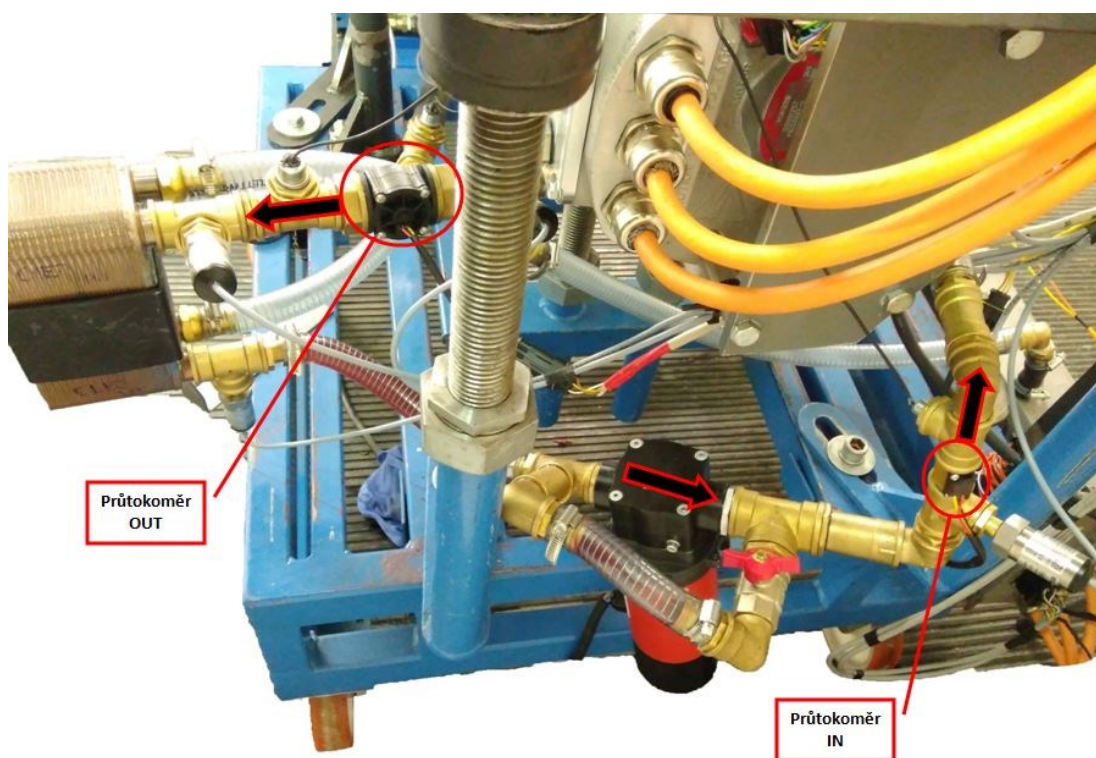
3.1.1 Přechodový stav 0 až 50 km·h⁻¹

Motor je z nulové rychlosti roztočen na 50 km·h⁻¹ a udržován na této rychlosti. Motor se točil po dobu ustálení měřených teplot. Ustálení bereme z termočláňkového snímače umístěného výrobcem přímo ve statoru. Tento snímač ukazuje teplotu přímo z vinutí, kde se motor nejvíce zahřívá. Ustálení nastává okolo času 700 s při teplotě 51 °C. Z naměřených dat lze vynést průběhy všech snímaných průtoků, tlaků a teplot v závislosti na čase.

Na Obr. 58 vidíme graf průtoku při rychlosti v závislosti na čase. Zde vidíme, že při rozjezdu na danou rychlost průtok lehce poklesne. Po dovršení a ustálení rychlosti se ustálí i průtok.

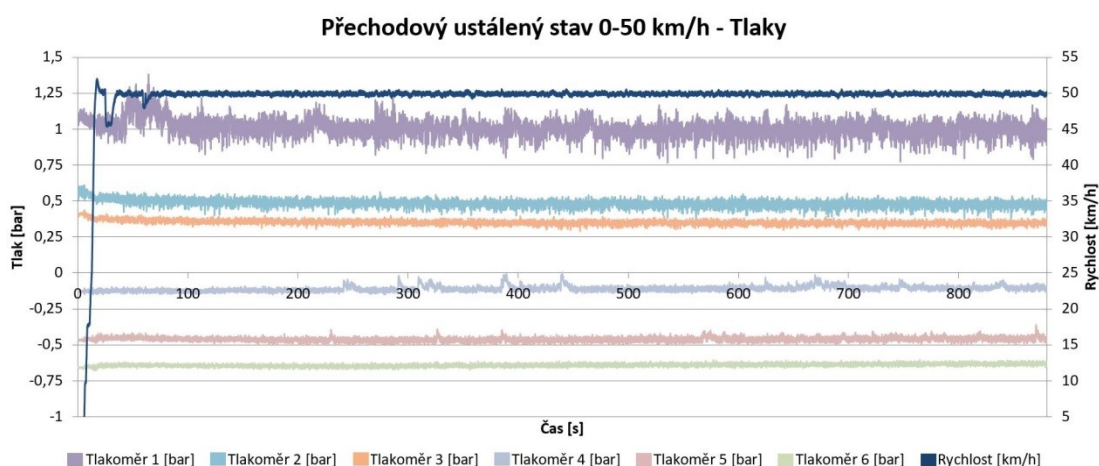


Obr. 58 Graf závislosti průtoku při rychlosti na čase - přechodový stav pro 50 km·h⁻¹.

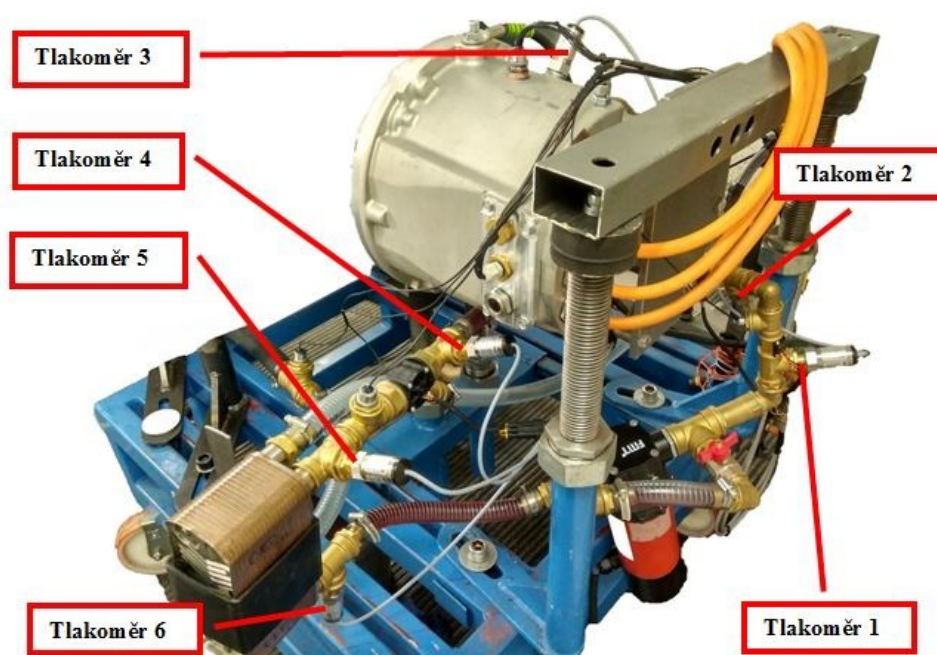


Obr. 59 Pozice průtokoměru - přechodový stav pro 50 km·h⁻¹.

Na Obr. 60 vidíme graf tlaků při rychlosti v závislosti na čase. Mezi jednotlivými křivkami můžeme vyčíst tlakové ztráty na jednotlivých komponentech. Mezi tlakoměrem dva a tlakoměrem čtyři máme tlakovou ztrátu motoru. Tlakoměr pět a šest nám dává tlakovou ztrátu tepelného výměníku. Z grafu vyplývá, že při nárůstu rychlosti tlak poklesl minimálně. Při ustálení rychlosti se ustálil i tlak. Tlak těsně před vstupem do motoru je okolo 0,5 bar. Tlak na motoru je okolo 0,4 bar. Podtlak těsně za motorem je okolo -0,1 bar

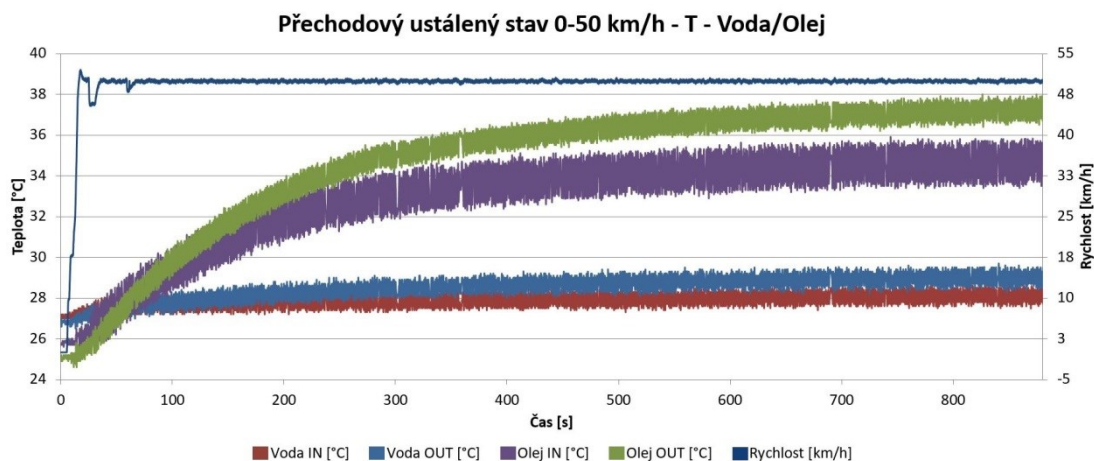


Obr. 60 Graf závislosti tlaků při rychlosti na čase - přechodový stav pro 50 km·h⁻¹.

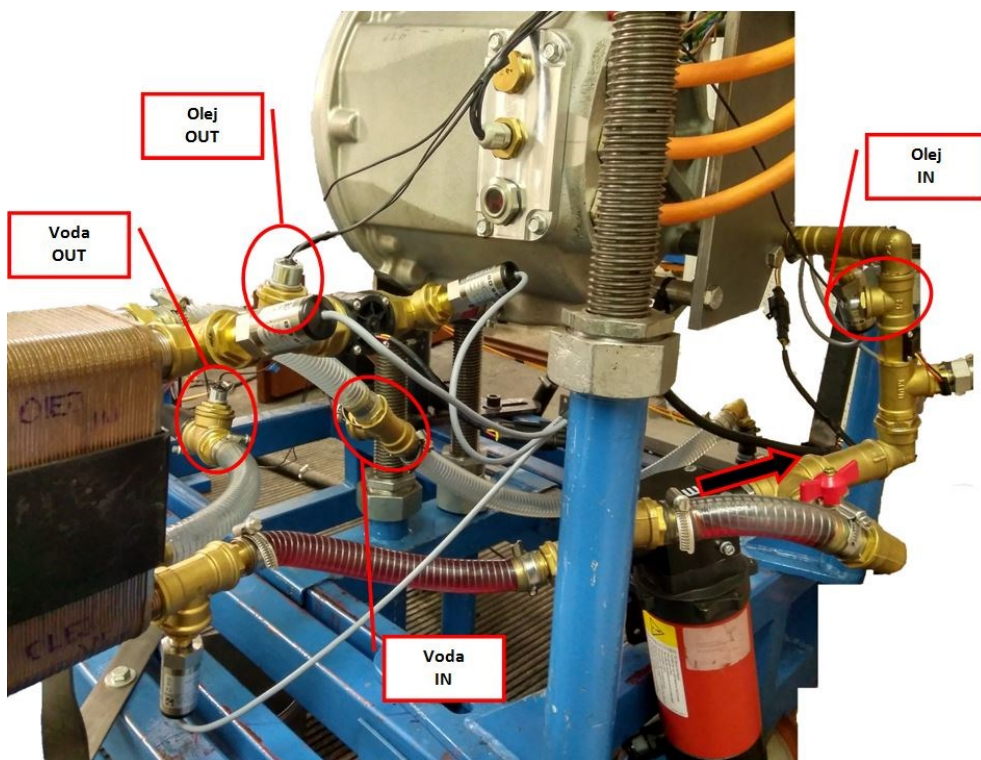


Obr. 61 Pozice tlakoměrů – přechodový stav pro 50 km·h⁻¹.

Na Obr. 62 vidíme graf teplot a olejového a vodního okruhu při rychlosti v závislosti na čase. Na grafu je patrný pozvolný nárůst teploty až po ustálení olejového okruhu. Rozdíl teplot na vstupní a výstupní větvi je 2 °C. Vstupní větev olejového okruhu má teplotu cca 35 °C a výstupní větev má teplotu okolo 37 °C. Vodní okruh má minimální nárůst teploty s minimálním rozdílem teplot.

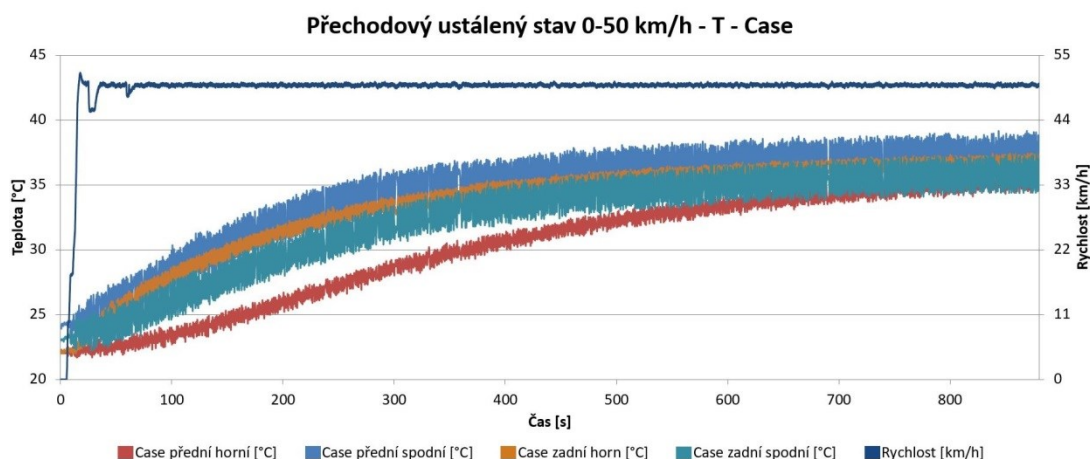


Obr. 62 Graf závislosti teplot olejového a vodního okruhu při rychlosti na čase - přechodový stav pro 50 km·h⁻¹.

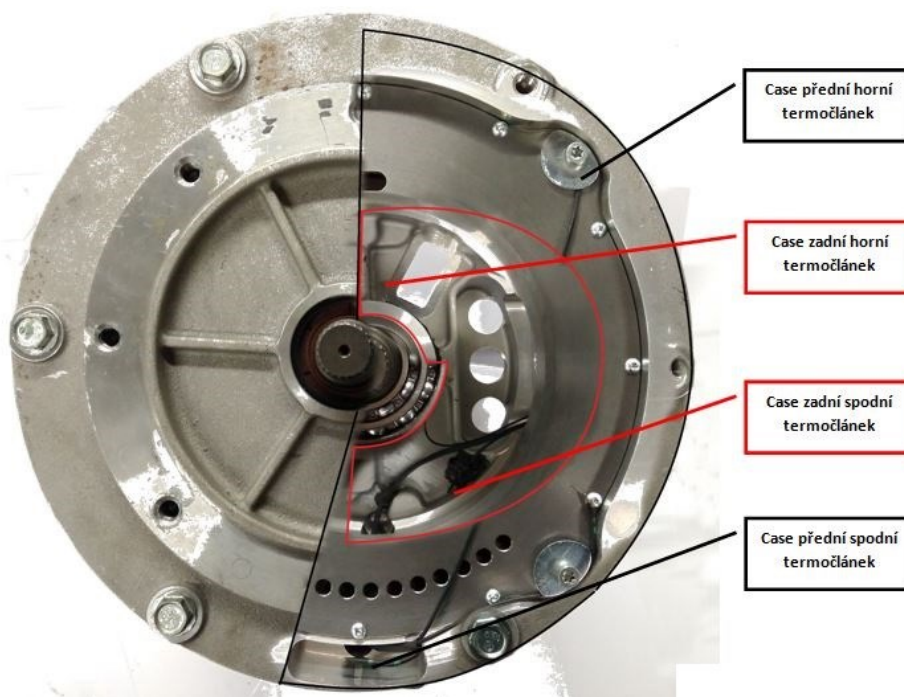


Obr. 63 Snímače teplot vodní/olejový okruh - přechodový stav pro 50 km·h⁻¹.

Na Obr. 64 vidíme graf teploty snímačů ve skříni motoru při rychlosti v závislosti na čase. Největší teploty dosahuje termočlánekový snímač v přední spodní části skříně, což je odtoková část větve s teplotou okolo 37 °C. Naopak nejmenší teploty dosahuje snímač ve vrchní přední části skříně, který má teplotu okolo 35 °C.

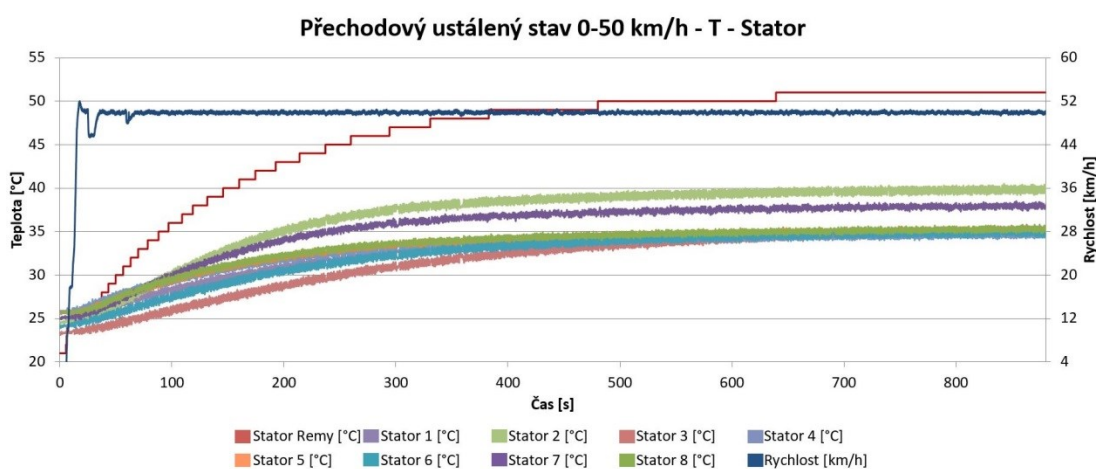


Obr. 64 Graf závislosti snímačů teplot ve skříni motoru při rychlosti na čase- přechodový stav pro 50 km·h⁻¹.

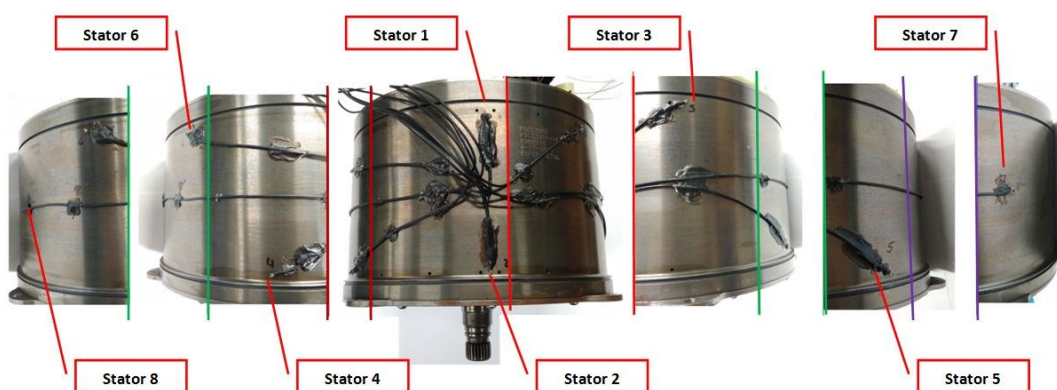


Obr. 65 Pozice termočlánu ve skříni motoru - přechodový stav pro 50 km·h⁻¹.

Na Obr. 66 vidíme graf teploty snímačů na statoru při rychlosti v závislosti na čase. Nejvyšší teploty dosahuje termočlánek umístěný přímo ve statoru a to 51 °C. Na cartridge potom máme nejvyšší teplotu na snímači číslo 2, který je umístěn na horní přední části cartridge a měří teplotu okolo 40 °C. Druhá nejvyšší teplota na cartridge je naměřená na snímači číslo 7, který se nachází ve spodní části napříč přívodním vstupem média. Tento snímač měří teplotu okolo 37 °C. Ostatní snímače na cartridge ukazují přibližně stejně, a to okolo 35 °C.



Obr. 66 Graf závislosti snímač teplot na statoru při rychlosti na čase - přechodový stav pro 50 km·h⁻¹.

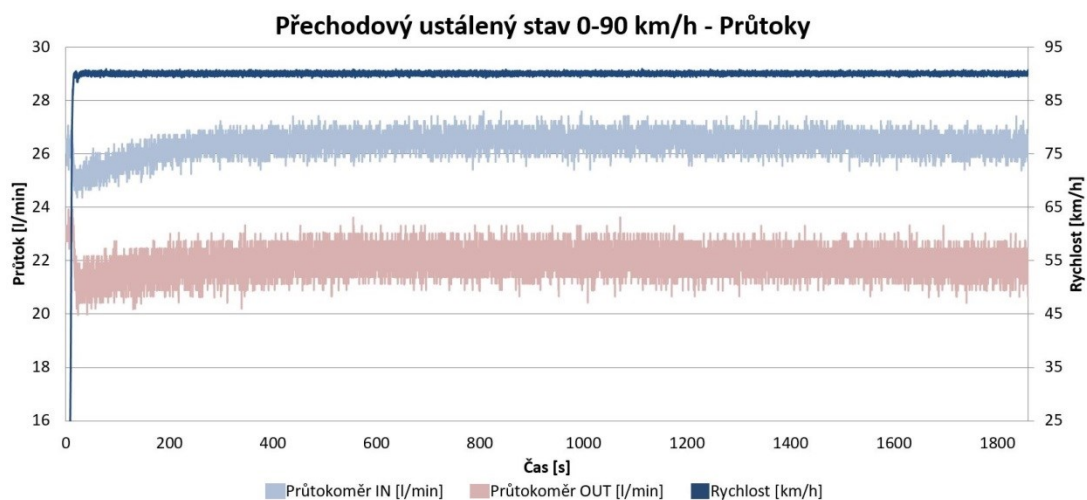


Obr. 67 Pozice termočlánekových snímačů - Přechodový stav pro 50 km·h⁻¹.

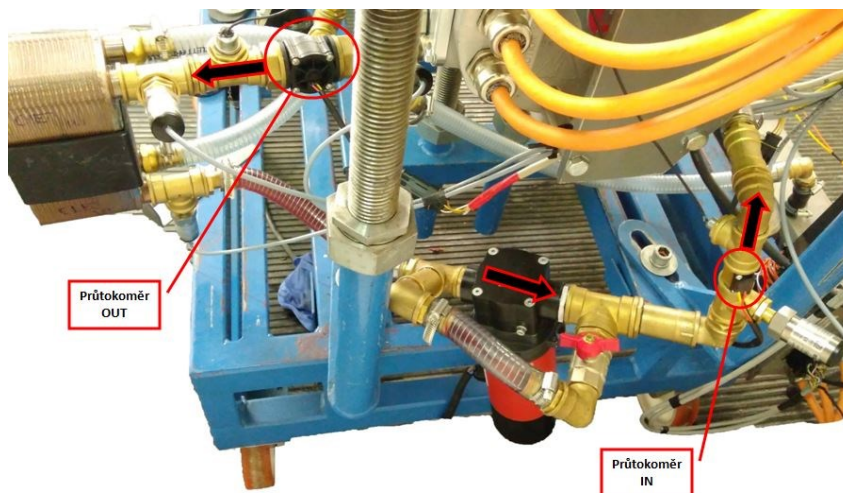
3.1.2 Přejchodový stav 0 až 90 km·h⁻¹

Motor je z nulové rychlosti roztočen na otáčky odpovídající 90 km·h⁻¹ a udržován na této rychlosti. Ustálení bereme z termočláňkového snímače umístěného výrobcem přímo ve statoru. Tento snímač ukazuje teplotu přímo z vinutí, kde se motor nejvíce zahřívá. Ustálení nastává okolo 1400 s při teplotě 56 °C. Z naměřených dat lze vynést průběhy všech snímaných průtoků, tlaků a teplot v závislosti na čase.

Na Obr. 68 vidíme graf průtoku při rychlosti v závislosti na čase. Zde vidíme, že při rozjezdu na danou rychlost průtok mírně poklesne. Po dovršení a ustálení rychlosti se ustálí i průtok.

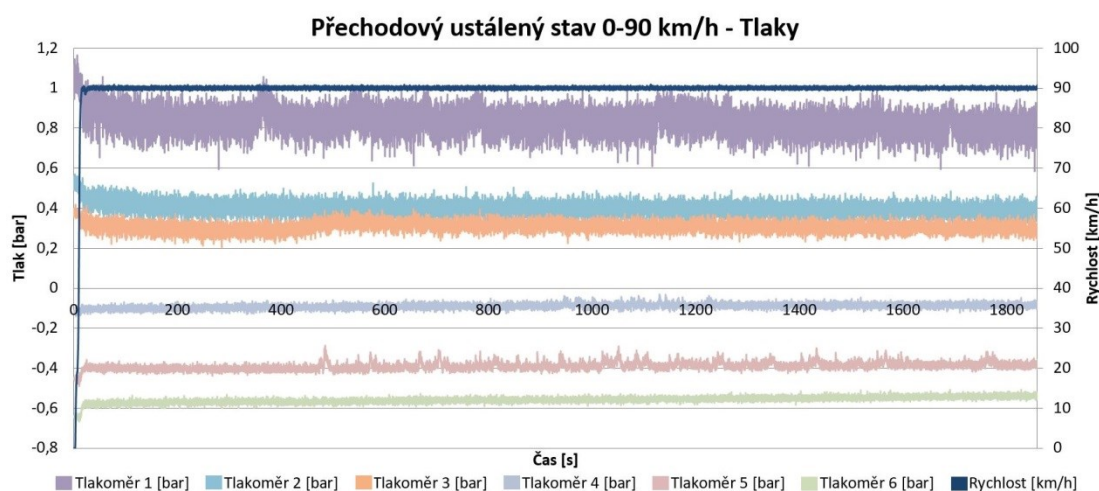


Obr. 68 Graf závislosti průtoku při rychlosti na čase - přechodový stav pro 90 km·h⁻¹.

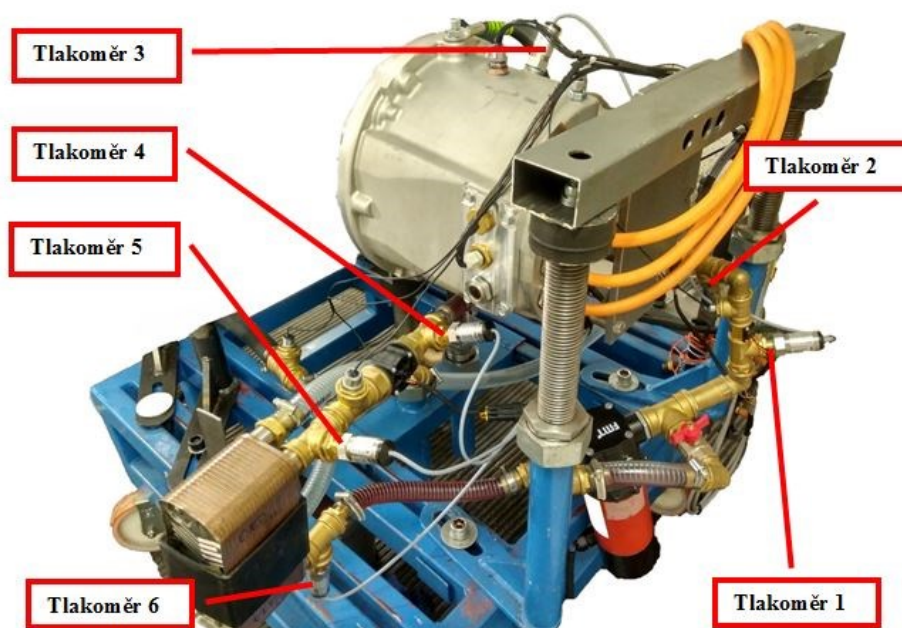


Obr. 69 Pozice průtokoměru - přechodový stav pro 90 km·h⁻¹.

Na Obr. 70 vidíme graf tlaků při rychlosti v závislosti na čase. Mezi jednotlivými křivkami můžeme vyčíst tlakové ztráty na jednotlivých komponentech. Mezi tlakoměrem dva a tlakoměrem čtyři máme tlakovou ztrátu motoru. Tlakoměr pět a šest nám dává tlakovou ztrátu tepelného výměníku. Z grafu vyplývá, že při nárůstu rychlosti tlak lehce poklesl. Při ustálení rychlosti se ustálil i tlak. Tlak těsně před vstupem do motoru je okolo 0,4 bar. Tlak na motoru je okolo 0,3 bar. Podtlak těsně za motorem je okolo -0,1 bar

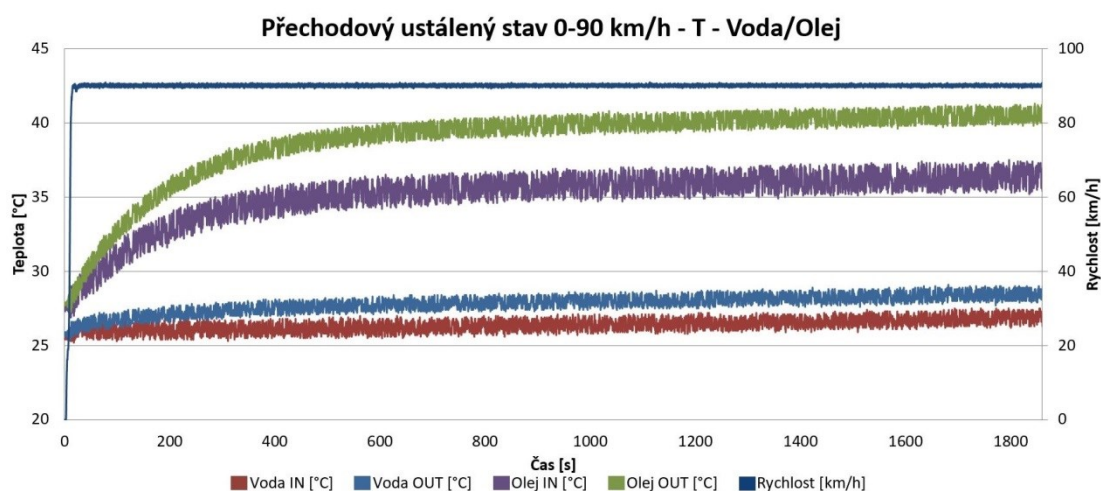


Obr. 70 Graf závislosti tlaků při rychlosti na čase - přechodový stav pro 90 km·h⁻¹.

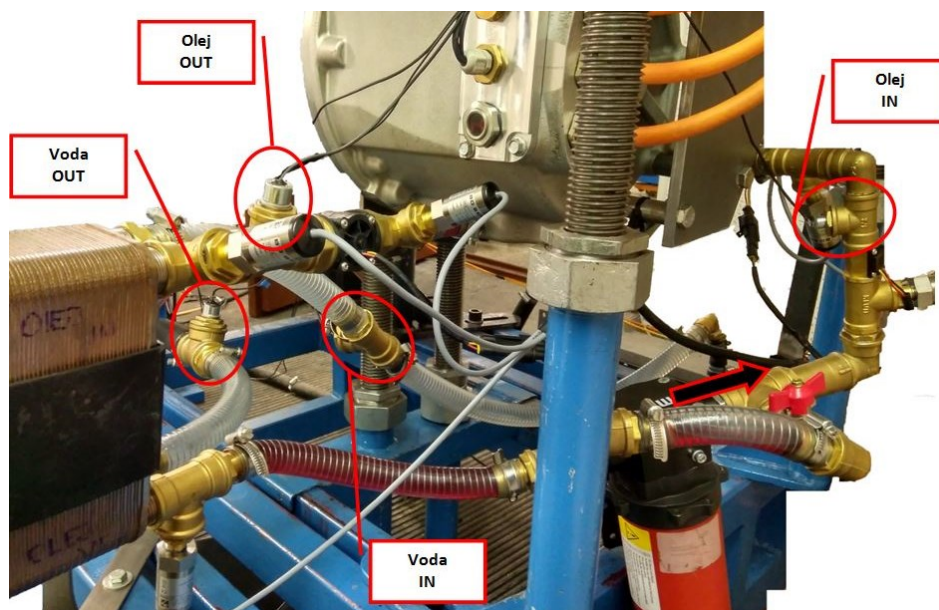


Obr. 71 Pozice tlakoměrů – přechodový stav pro 90 km·h⁻¹.

Na Obr. 72 vidíme graf teplot a olejového a vodního okruhu při rychlosti v závislosti na čase. V olejovém okruhu je patrný rychlejší nárůst teploty z počátku měření, dále je nárůst pozvolnější až po ustálení. Rozdíl teplot na vstupní a výstupní větvi je okolo 5 °C. Vstupní větev olejového okruhu má teplotu cca 36 °C a výstupní větev má teplotu okolo 41 °C. Vodní okruh má minimální nárůst teploty s minimálním rozdílem teplot.

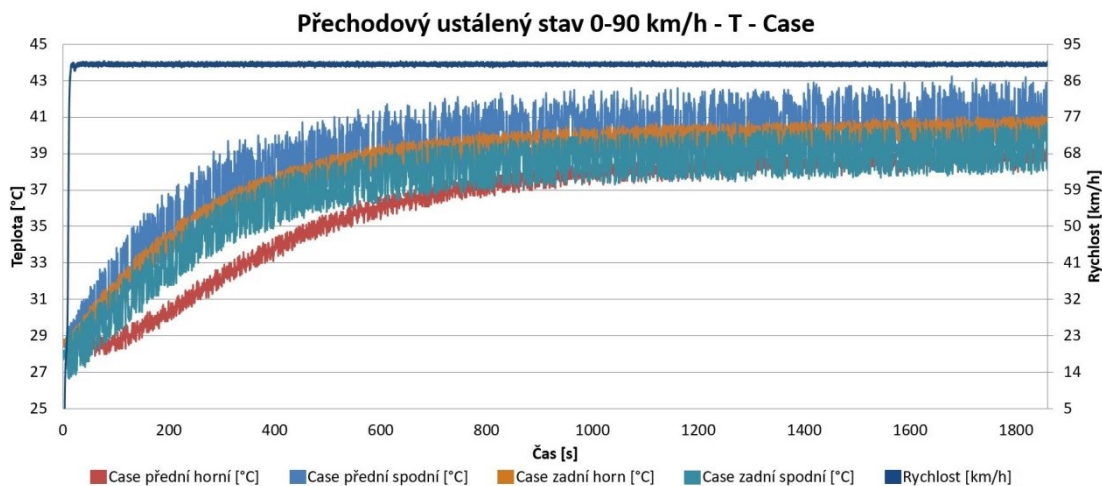


Obr. 72 Graf závislosti teplot olejového a vodního okruhu při rychlosti na čase - přechodový stav pro 90 km·h⁻¹.

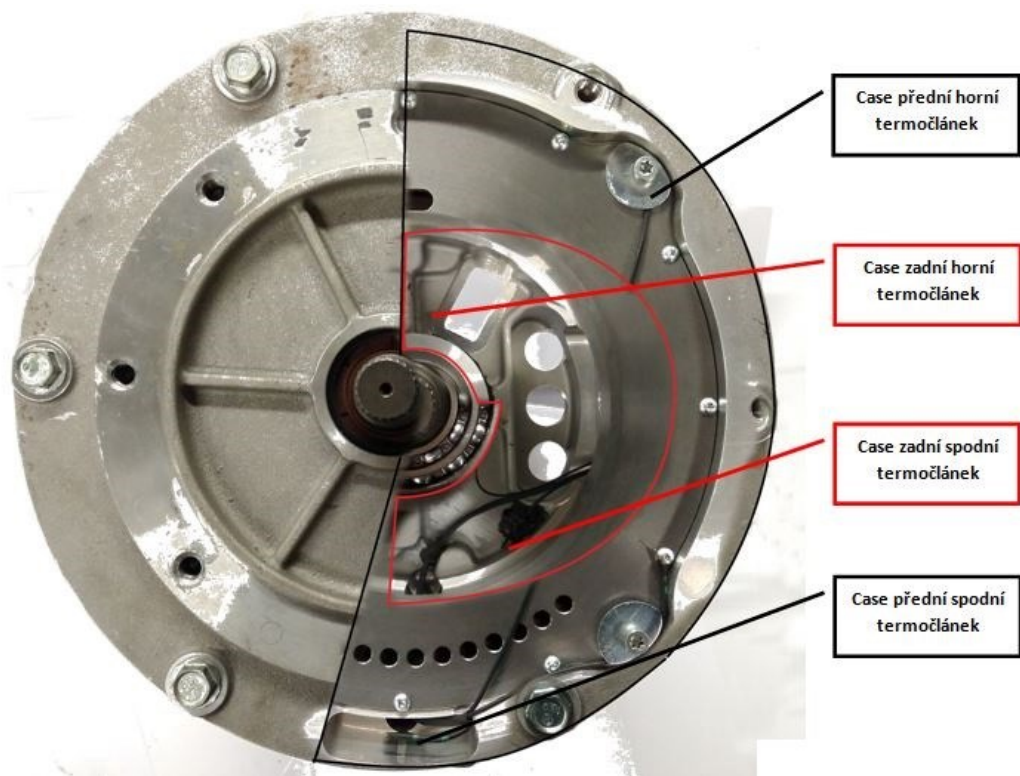


Obr. 73 Snímače teplot vodní/olejový okruh - přechodový stav pro 90 km·h⁻¹.

Na Obr. 74 vidíme graf teploty snímačů ve skříni motoru při rychlosti v závislosti na čase. Největší teploty dosahuje termočlánekový snímač v přední spodní části skříně, což je odtoková část větve s teplotou okolo 42 °C. Naopak nejmenší teploty dosahuje snímač ve vrchní přední části skříně, který má teplotu okolo 39 °C.

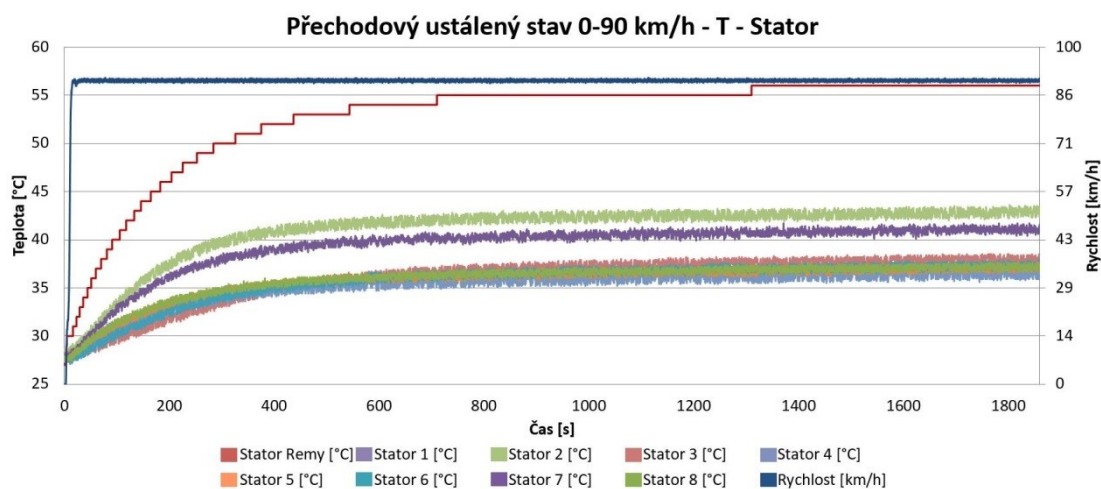


Obr. 74 Graf závislosti snímačů teplot ve skříni motoru při rychlosti na čase - přechodový stav pro 90 km·h⁻¹

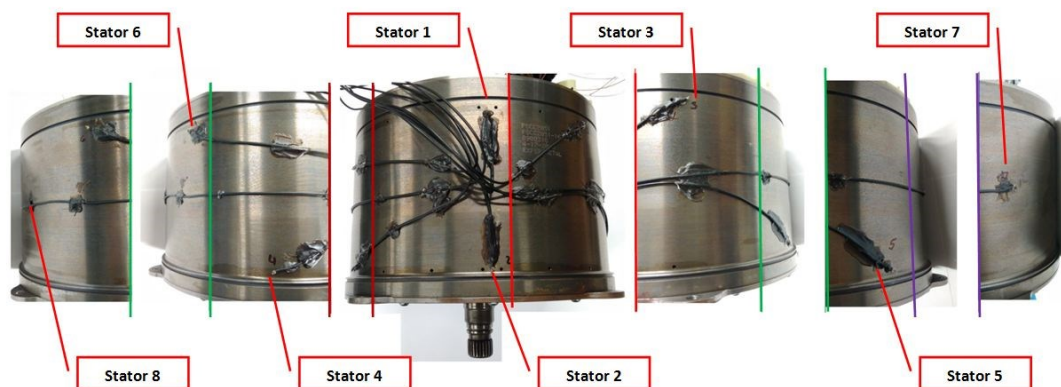


Obr. 75 Pozice termočláneků ve skříni motoru - přechodový stav pro 90 km·h⁻¹.

Na Obr. 76 vidíme graf teploty snímačů na statoru při rychlosti v závislosti na čase. Nejvyšší teploty dosahuje termočlánek umístěný přímo ve statoru a to 56 °C. Na cartridge potom máme nejvyšší teplotu na snímači číslo 2, který je umístěn na horní přední části cartridge a měří teplotu okolo 43 °C. Druhá nejvyšší teplota na cartridge je naměřená na snímači číslo 7, který se nachází ve spodní části napříč přívodním vstupem média. Tento snímač měří teplotu okolo 41 °C. Ostatní snímače na cartridge ukazují přibližně stejně, a to okolo 37 °C.



Obr. 76 Graf závislosti snímačů teplot na statoru při rychlosti na čase - přechodový stav pro 90 km·h⁻¹.

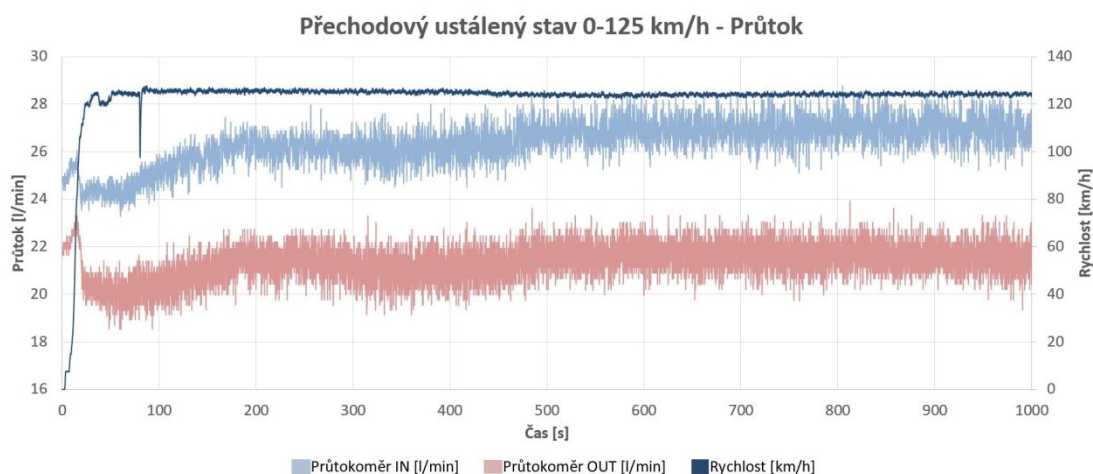


Obr. 77 Pozice termočlánekových snímačů - Přechodový stav pro 90 km·h⁻¹.

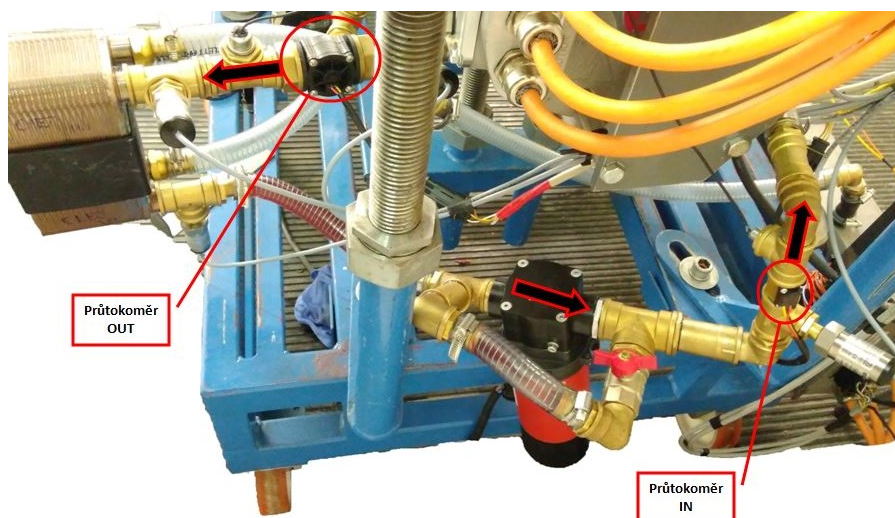
3.1.3 Přejíhový stav 0 až 125 km·h⁻¹

Motor je z nulové rychlosti roztočen na otáčky odpovídající 125 km·h⁻¹ a udržován na této rychlosti. Ustálení bereme z termočláňkového snímače umístěného výrobcem přímo ve satoru. Tento snímač ukazuje teplotu přímo z vinutí, kde se motor nejvíce zahřívá. Ustálení nastává okolo 1000 s při teplotě 105 °C. Z naměřených dat lze vynést průběhy všech snímaných průtoků, tlaků a teplot v závislosti na čase.

Na Obr. 78 vidíme graf průtoku při rychlosti v závislosti na čase. Zde vidíme, že při rozjezdu na danou rychlost průtok poklesne. Po delší době se ustálí. Propad na rychlosti je způsoben chybou obsluhy hydrodynamické brzdy.

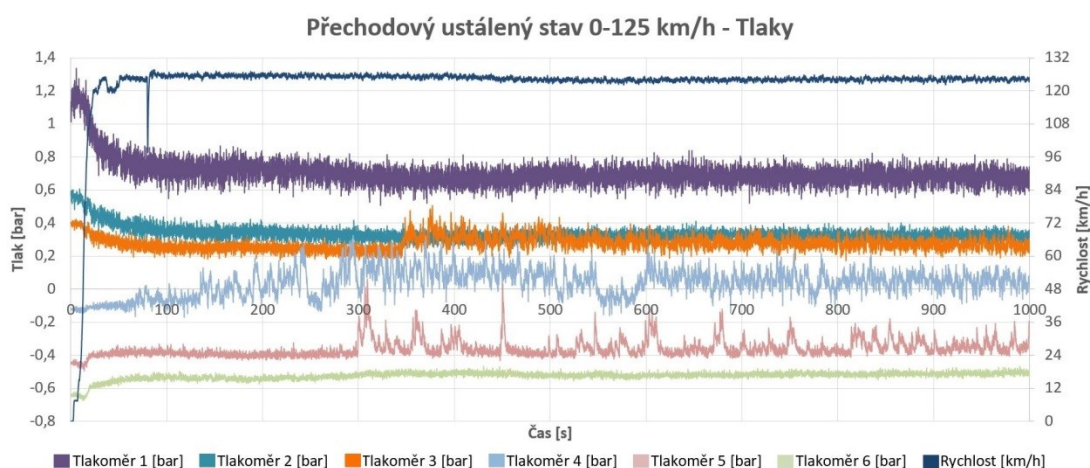


Obr. 78 Graf závislosti průtoku při rychlosti na čase - přejíhový stav pro 125 km·h⁻¹.

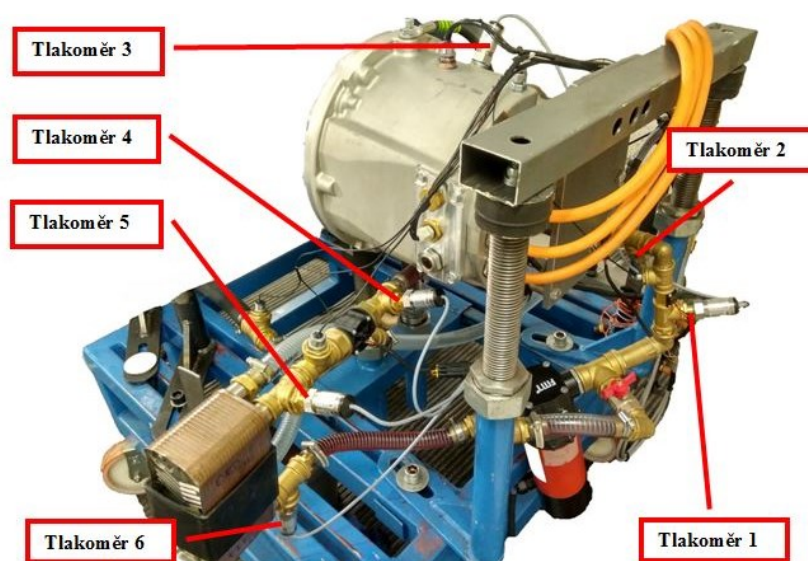


Obr. 79 Pozice průtokoměru - přejíhový stav pro 125 km·h⁻¹.

Na Obr. 80 vidíme graf tlaků při rychlosti v závislosti na čase. Mezi jednotlivými křivkami můžeme vyčíst tlakové ztráty na jednotlivých komponentech. Mezi tlakoměrem dva a tlakoměrem čtyři máme tlakovou ztrátu motoru. Tlakoměr pět a šest nám dává tlakovou ztrátu tepelného výměníku. Z grafu vyplývá, že při nárůstu rychlosti tlak poklesl. Při ustálení rychlosti se ustálil tlak pouze v okolí čerpadla. Tlakoměry na výstupní větvi hned za motorem mají poměrně velký rozkmit způsobený nejpravděpodobněji napěněním chladicího media. Tlak těsně před vstupem do motoru je okolo 0,4 bar. Tlak na motoru je okolo 0,2 bar. Tlak těsně za motorem je okolo 0,1 bar

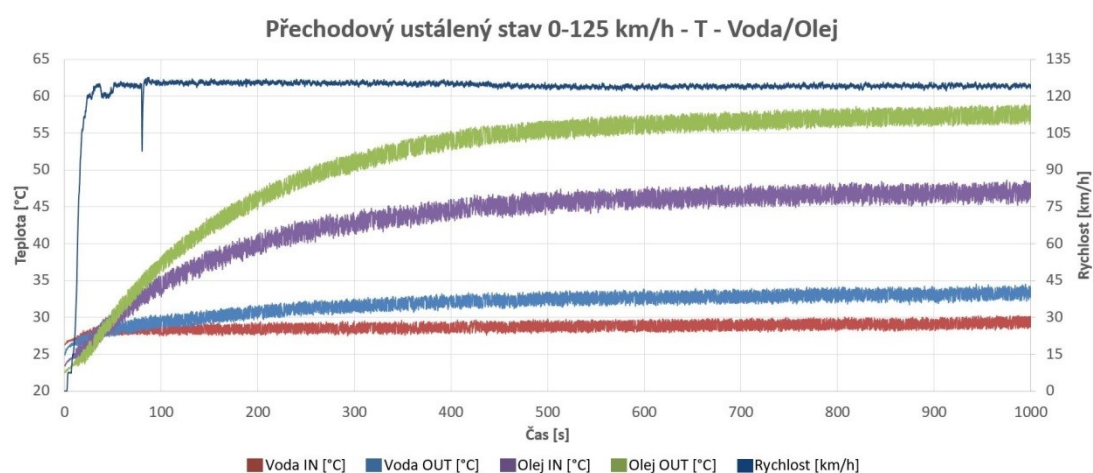


Obr. 80 Graf závislosti tlaků při rychlosti na čase - přechodový stav pro 125 km·h⁻¹.

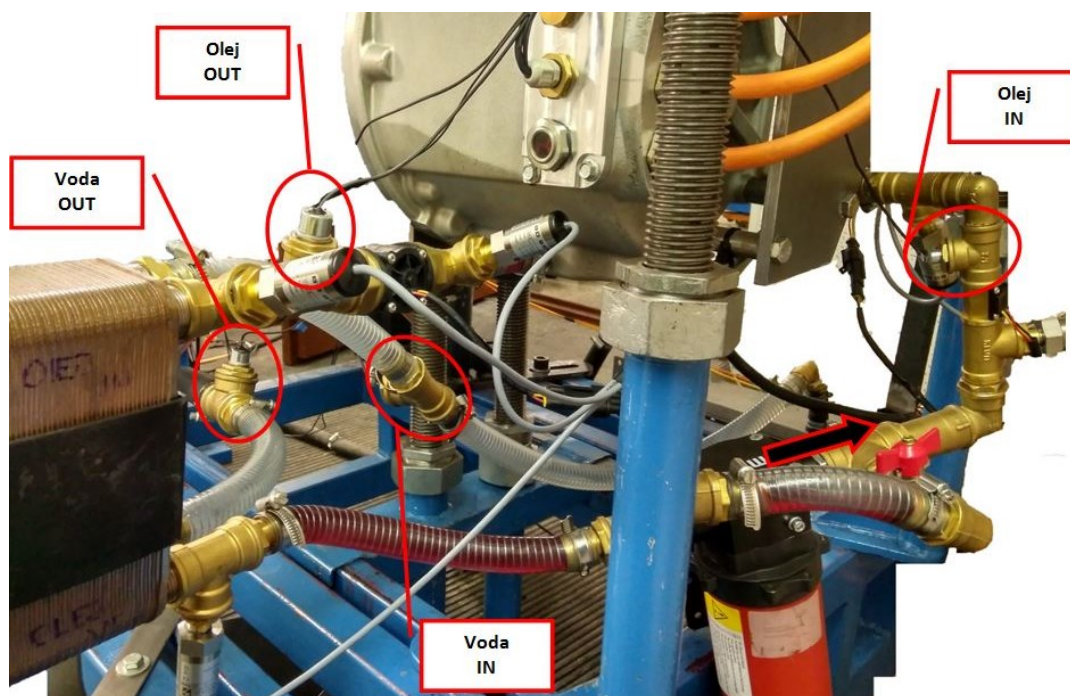


Obr. 81 Pozice tlakoměrů – přechodový stav pro 125 km·h⁻¹.

Na Obr. 82 vidíme graf teplot a olejového a vodního okruhu při rychlosti v závislosti na čase. V olejovém okruhu je patrný rychlejší nárůst teploty z počátku měření, dále je nárůst pozvolnější až po ustálení. Rozdíl teplot na vstupní a výstupní větvi je okolo 10 °C. Vstupní větev olejového okruhu má teplotu cca 47 °C a výstupní větev má teplotu okolo 57 °C. Vodní okruh má minimální nárůst teploty s minimálním rozdílem teplot.

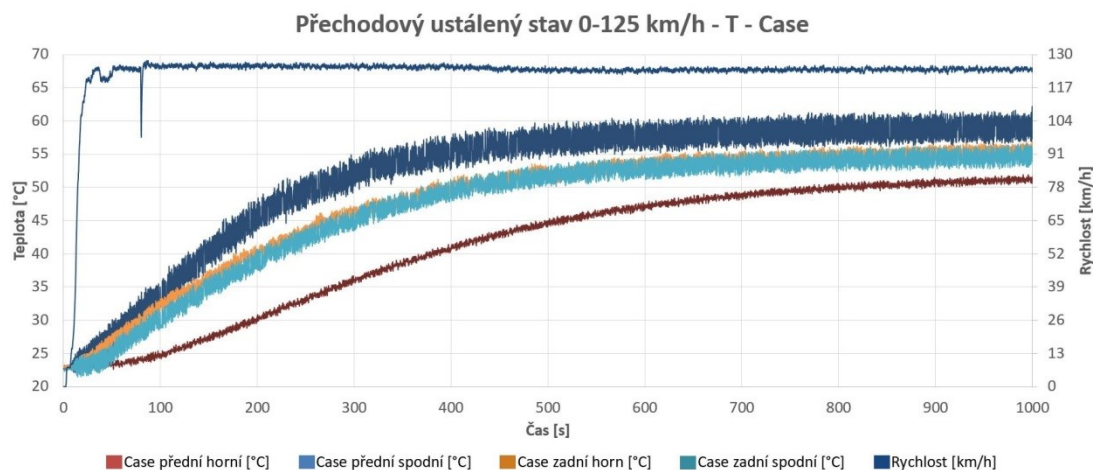


Obr. 82 Graf závislosti teplot olejového a vodního okruhu při rychlosti na čase - přechodový stav pro 125 km·h⁻¹.

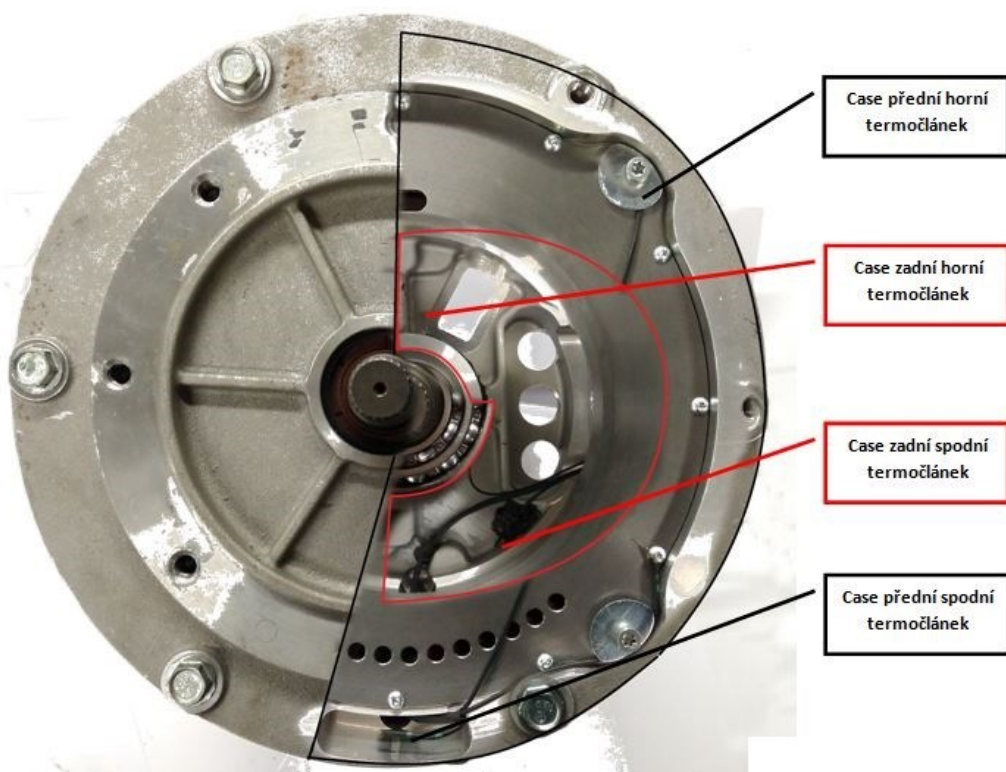


Obr. 83 Snímače teplot vodní/olejový okruh - přechodový stav pro 125 km·h⁻¹.

Na Obr. 84 vidíme graf teploty snímačů ve skříni motoru při rychlosti v závislosti na čase. Nejvyšší teploty dosahuje termočlánekový snímač v přední spodní části skříně, což je odtoková část větve s teplotou okolo 60 °C. Naopak nejmenší teploty dosahuje snímač ve vrchní přední části skříně, který má teplotu okolo 51 °C.

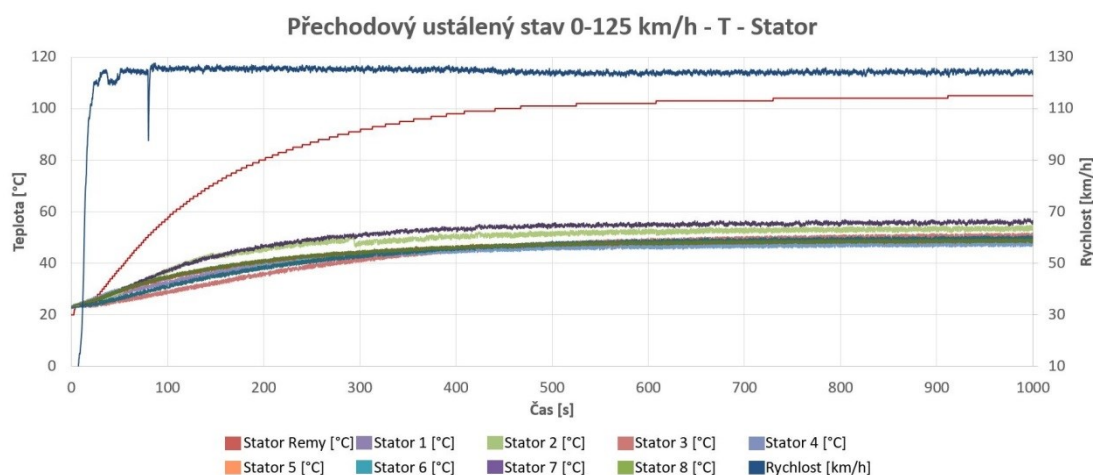


Obr. 84 Graf závislosti snímačů teplot ve skříni motoru při rychlosti na čase - přechodový stav pro 125 km·h⁻¹.

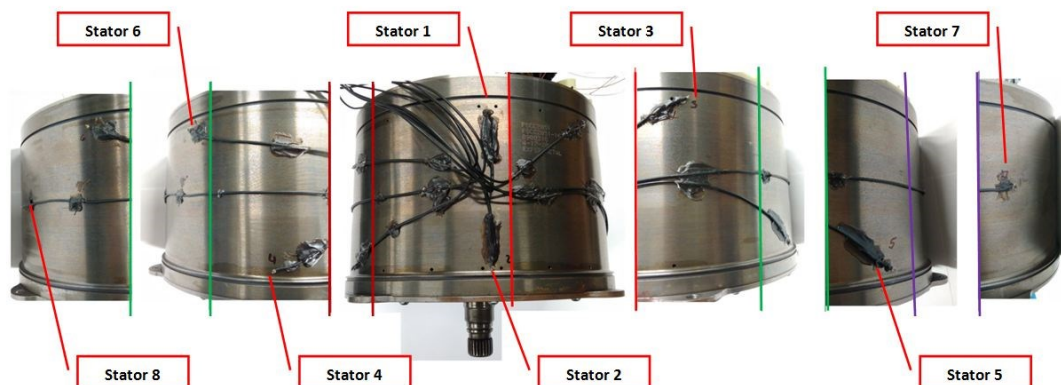


Obr. 85 Pozice termočlánu ve skříni motoru - přechodový stav pro 125 km·h⁻¹.

Na Obr. 86 vidíme graf teploty snímačů na statoru při rychlosti v závislosti na čase. Nejvyšší teploty dosahuje termočlánek umístěný přímo ve statoru a to 105 °C. Nejvyšší teplota na cartridgi je naměřená na snímači číslo 7, který se nachází ve spodní části napříč přívodním vstupem média. Tento snímač naměřil teplotu okolo 58 °C. Ostatní snímače na cartridgi ukazují přibližně stejnou teplotu okolo 50 °C.



Obr. 86 Graf závislosti snímač teplot na statoru při rychlosti na čase - přechodový stav pro 125 km·h⁻¹.

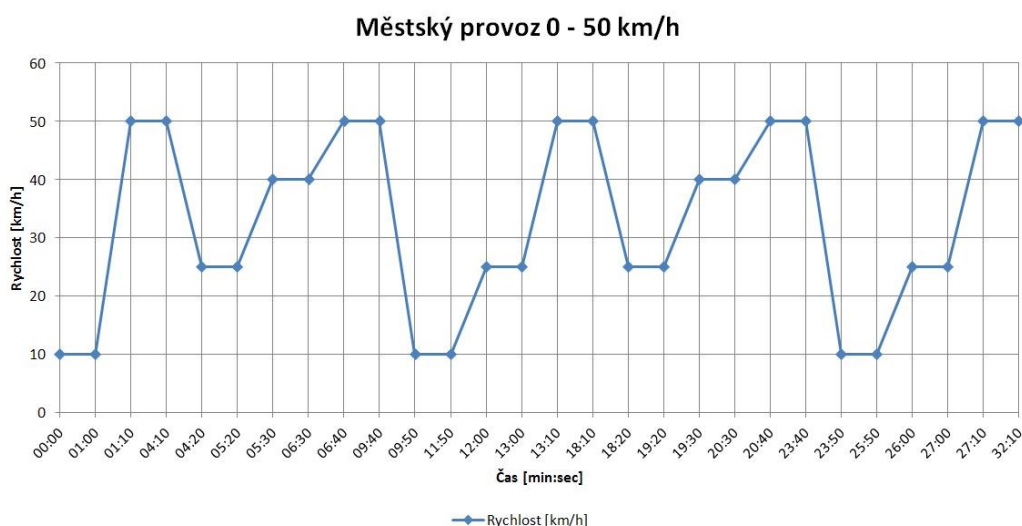


Obr. 87 Pozice termočlánekových snímačů - Přechodový stav pro 125 km·h⁻¹.

3.2 Testovací režimy – vycházející z jízdních zkoušek

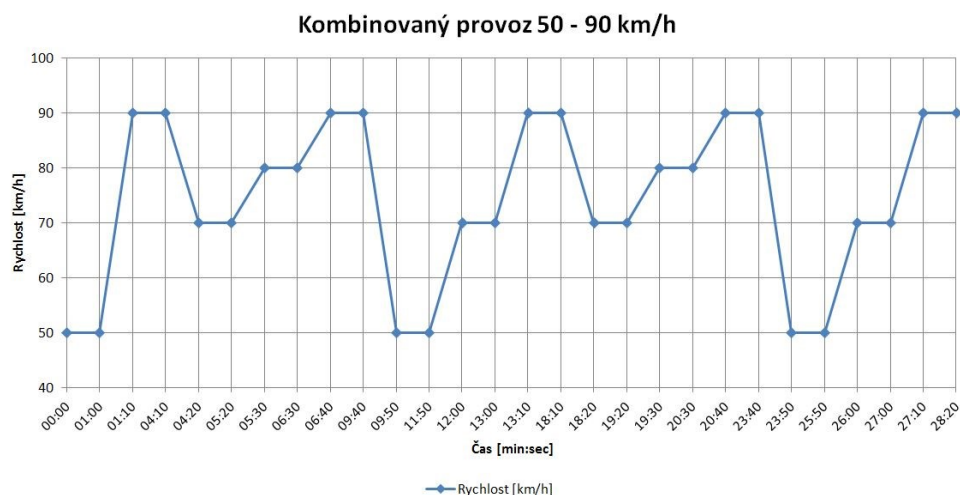
Pro experimentální měření na hydrodynamické brzdě jsme se nechali inspirovat skutečnými jízdními podmínkami. Na tomto základě byly vytvořeny jízdní režimy, které se snaží spojit skutečnou jízdu s možností manuálního ovládání motoru na brzdě. Simulovaly se tyto režimy:

Testovací režim - Městský provoz- jde o test, kdy se snažíme připodobnit jízdu ve městě a rychlost se pohybuje v rozmezí 10 až 50 km·h⁻¹ v časovém úseku 32 minut 10 sekund, což je 1930 s. Průběh rychlosti v čase vidíme na Obr. 88.



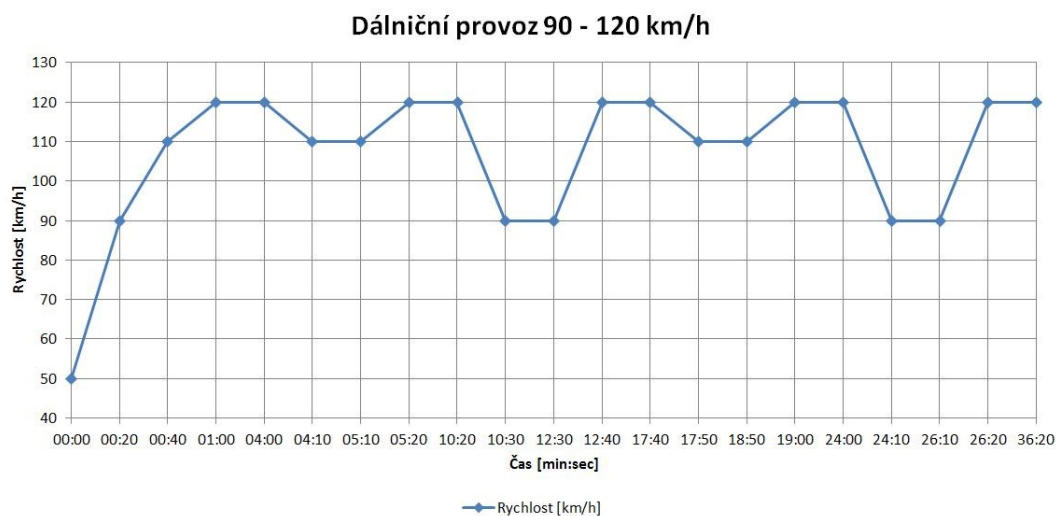
Obr. 88 Jízdní režim - Městský provoz.

Testovací režim - Kombinovaný provoz - v tomto testu jde o napodobení jízdy mimo obec, kdy se rychlost pohybuje v rozmezí 50 až 90 km·h⁻¹ v časovém úseku 28 minut a 20 sekund, což je 1700 s. Průběh rychlosti v čase vidíme na Obr. 89.



Obr. 89 Jízdní režim - Kombinovaný provoz.

Testovací režim - Dálniční provoz - zde jsme napodobili jízdu po dálnici v rozmezí rychlosti 90 až 120 km·h⁻¹. Rychlost jsme omezili místo 130 km·h⁻¹ na 120 km·h⁻¹, a to z důvodu omezení vysokého odběru proudu z usměrňovače napětí při proměnném zatížení. Testování trvalo po dobu 36 minut a 20 sekund, což je 2180 s. Průběh rychlosti v čase vidíme na Obr. 90.

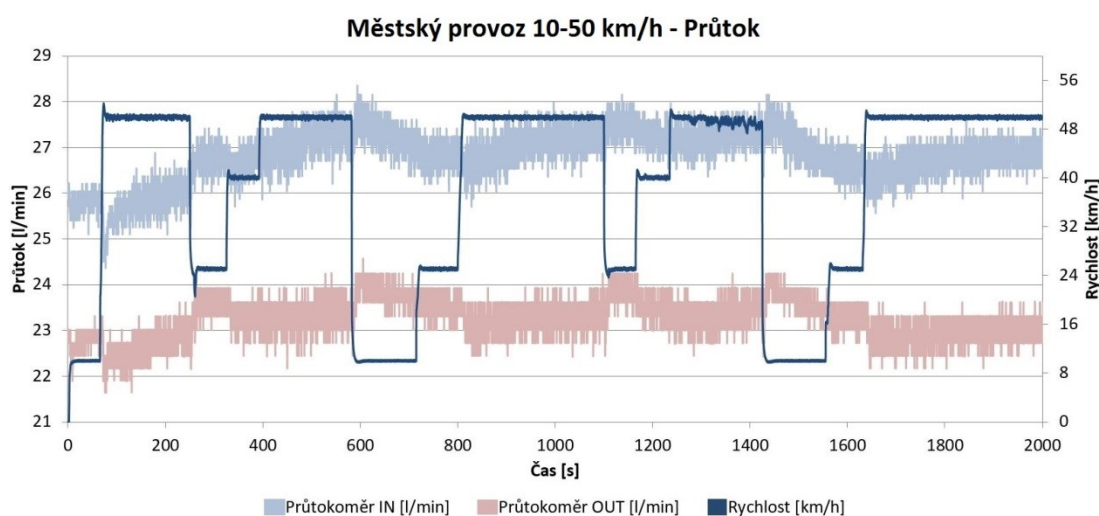


Obr. 90 Jízdní režim - Dálniční provoz.

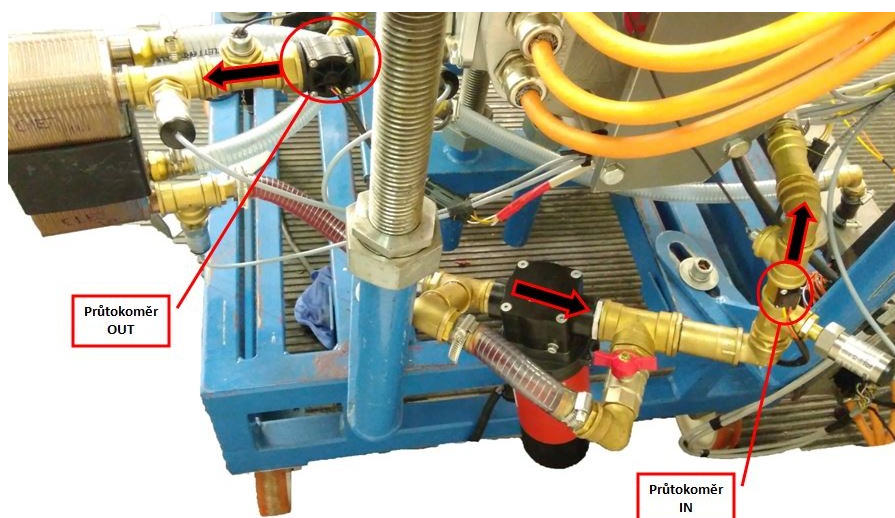
3.2.1 Městský provoz

Jedná se o simulaci provozu v rozmezí 10 až 50 km·h⁻¹ po dobu zhruba 2000 s. Z naměřených dat lze vynést průběhy všech snímaných průtoků, tlaků a teplot v závislosti na čase.

Průběžný pohyb průtoku v závislosti na rychlosti je vidět na Obr. 91. Při akceleraci průtok poklesne. V ustálené rychlosti má průtok snahu stoupat a ustalovat se. Při deceleraci průtok stoupá.

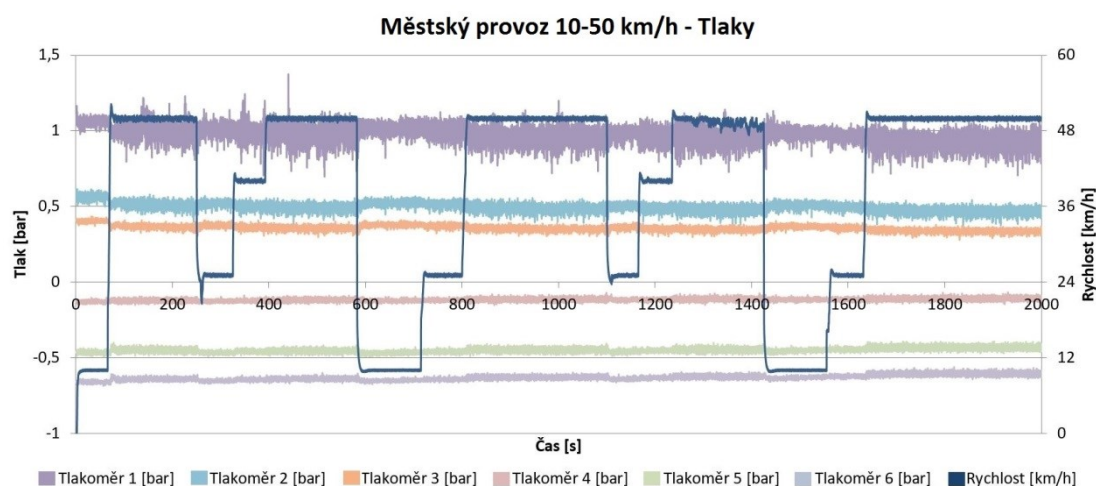


Obr. 91 Graf závislosti průtoku při rychlosti na čase – Městský provoz.

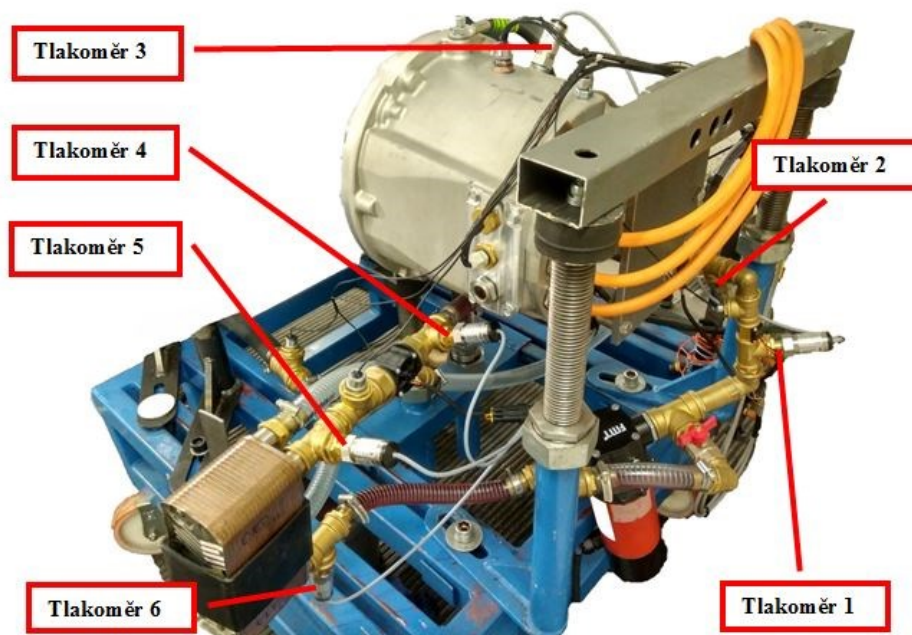


Obr. 92 Pozice průtokoměru - Městský provoz.

Na Obr. 93 vidíme graf tlaků při rychlosti v závislosti na čase. Mezi jednotlivými křivkami můžeme vyčíst tlakové ztráty na jednotlivých komponentech. Tlakoměr dva a tlakoměr čtyři zobrazuje tlakovou ztrátu motoru. Tlakoměr pět a šest nám dává tlakovou ztrátu tepelného výměníku. Z grafu vyplývá, že podobně jako u průtoku při akceleraci tlak lehce klesá a při deceleraci tlak lehce stoupá, stejně jako průtok. Tlak těsně před vstupem do motoru je průměrně okolo 0,5 bar. Tlak na motoru je průměrně okolo 0,4 bar. Podtlak těsně za motorem je okolo -0,2 bar.

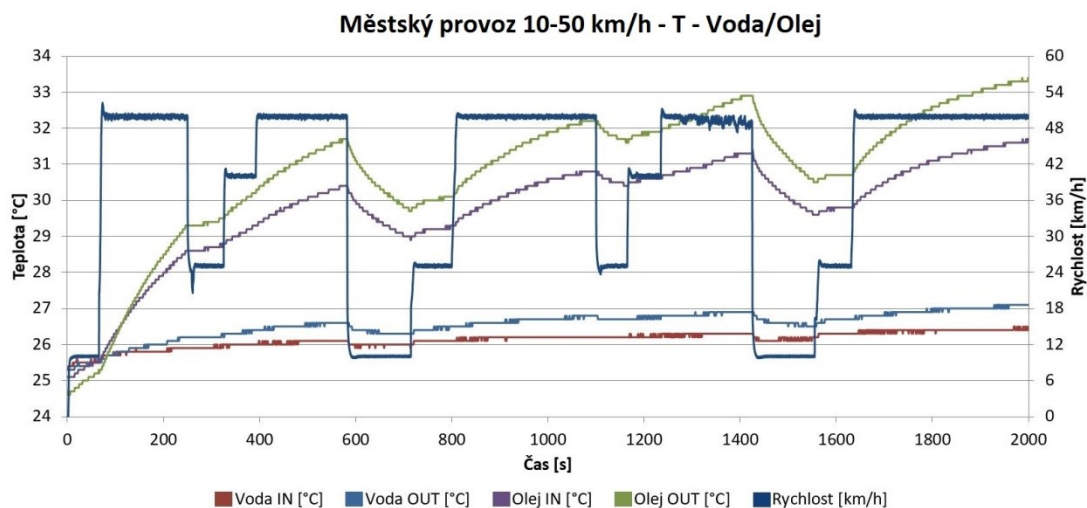


Obr. 93 Graf závislosti tlaku při rychlosti na čase – Městský provoz.

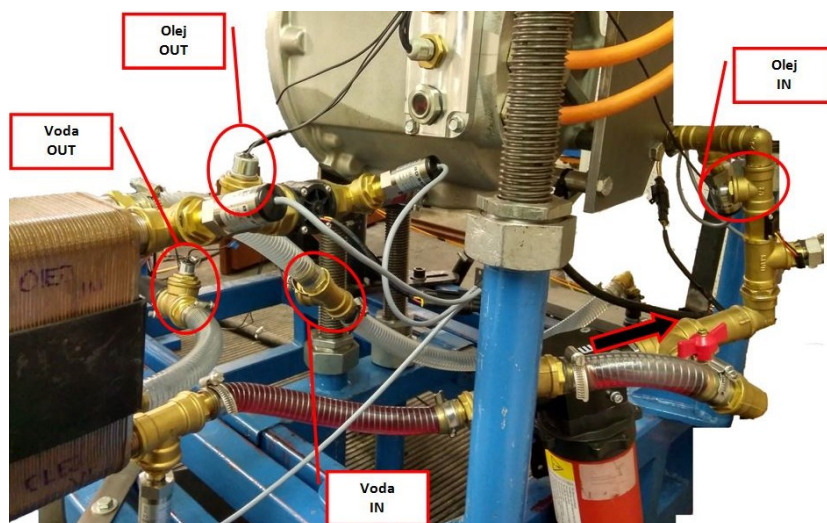


Obr. 94 Pozice tlakoměrů – Městský provoz.

Na Obr. 95 vidíme graf teplot a olejového a vodního okruhu při rychlosti v závislosti na čase. V olejovém okruhu je patrná rychlejší reakce teploty na rychlost oproti vodnímu okruhu, kde jsou reakce minimální. Rozdíl teplot na vstupní a výstupní větvi olejového okruhu je největší ze začátku měření, v dalším průběhu se rozdíl teplot mění pouze v desetinách stupně. Okolo 2000 sekund nastává ustálení, kdy se již teploty v průběhu měření zásadně nemění. Rozdíl teplot v závěru měření je na vstupní a výstupní větvi okolo necelých 2 °C. Vstupní větev olejového okruhu má teplotu cca 31,7 °C a výstupní větev má teplotu okolo 33,3 °C. Vodní okruh má minimální nárůst teploty s minimálním rozdílem teplot pod 1 °C.

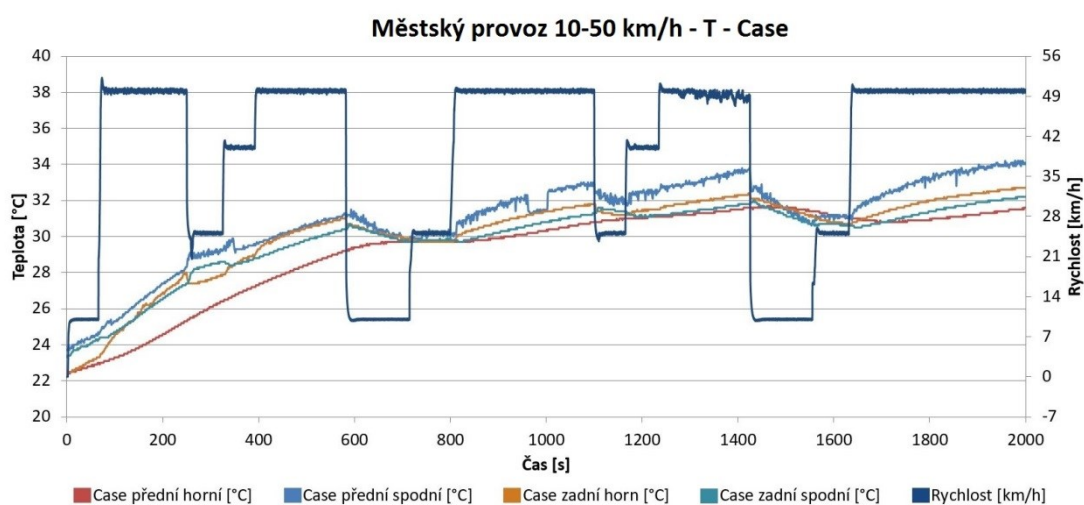


Obr. 95 Graf teplot olejového a vodního okruhu při rychlosti na čase – Městský provoz.

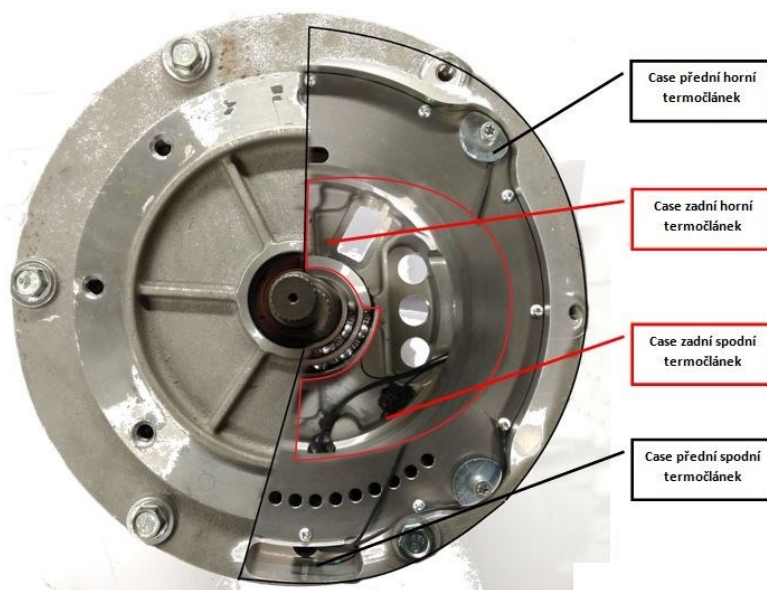


Obr. 96 Snímače teplot vodní/olejový okruh - Městský provoz.

Na Obr. 97 vidíme graf teploty snímačů ve skříní motoru při rychlosti v závislosti na čase. V olejovém okruhu je patrná reakce teploty na rychlost. Rozdíl teplot je patrný na začátku měření, v dalším průběhu se rozdíl teplot mění pouze minimálně. Nejvyšší teploty ke konci měření dosahuje termočlánekový snímač v přední spodní části skříně, což je odtoková část větve s teplotou okolo 34 °C. Naopak nejmenší teploty dosahuje snímač ve vrchní přední části skříně, který má teplotu pod 32 °C.

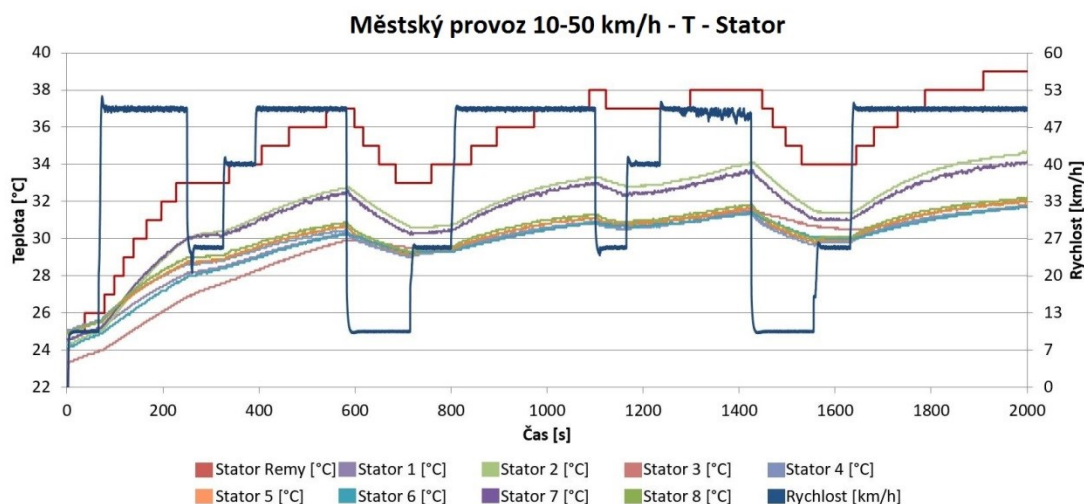


Obr. 97 Graf závislosti snímačů teplot ve skříní motoru při rychlosti na čase – Městský provoz.

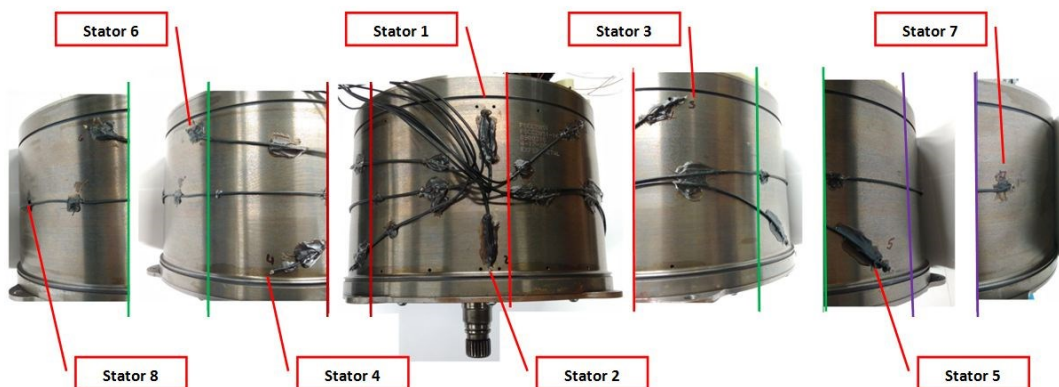


Obr. 98 Pozice termočláneku ve skříní motoru - Městský provoz.

Na Obr. 99 vidíme graf teploty snímačů na statoru při rychlosti v závislosti na čase. V olejovém okruhu je patrná reakce teploty na rychlost. Nejvyšší teploty po celý průběh měření dosahuje termočlánek umístěný přímo ve statoru. V závěru měření ukazuje teplotu 39 °C. Na cartridge ke konci měření máme nejvyšší teplotu na snímači číslo 2, který je umístěn na horní přední části cartridge a měří teplotu necelých 35 °C. Druhá nejvyšší teplota na cartridge je naměřená na snímači číslo 7, který se nachází ve spodní části napříč přívodním vstupem media. Tento snímač měří teplotu okolo 34 °C. Ostatní snímače na cartridge ukazují přibližně stejně, a to okolo 32 °C.



Obr. 99 Graf závislosti snímač teplot na statoru při rychlosti na čase – Městský provoz.

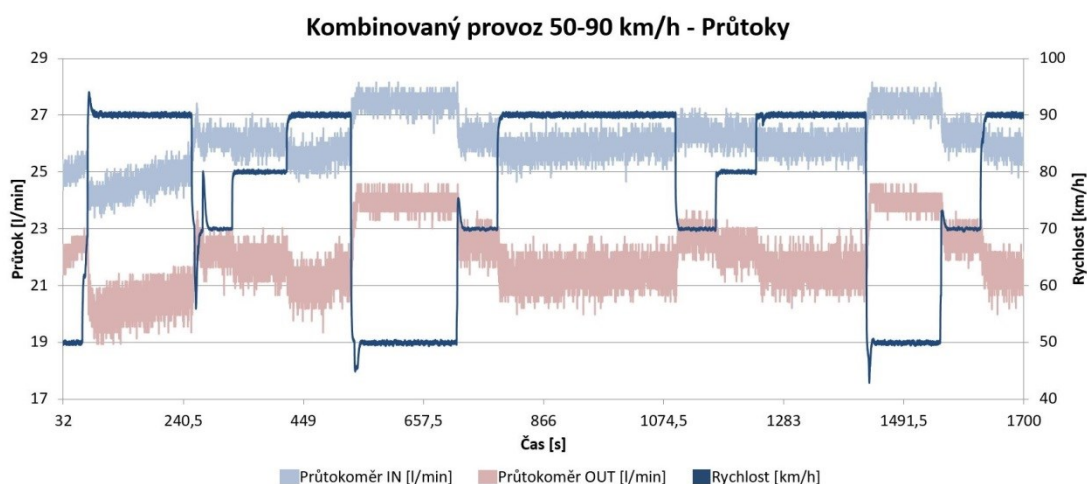


Obr. 100 Pozice termočlánekových snímačů - Městský provoz.

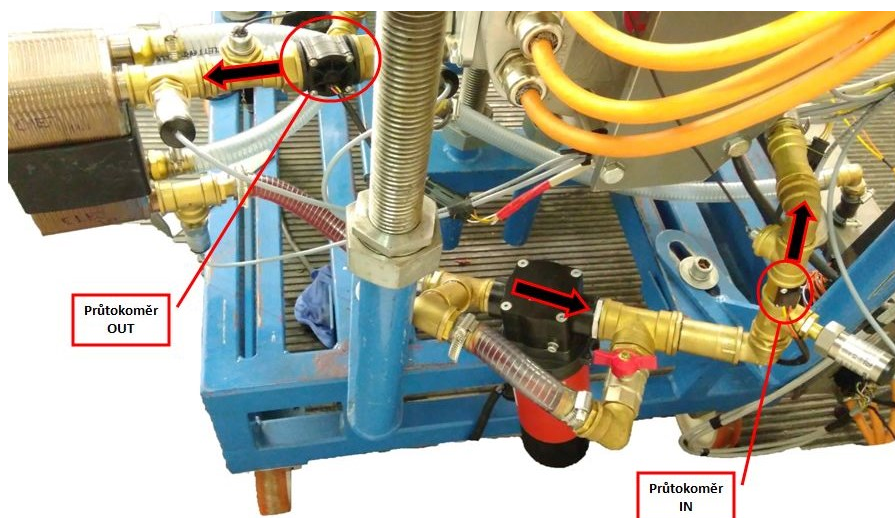
3.2.2 Kombinovaný provoz

Jde o simulaci provozu v rozmezí 50 až 90 km·h⁻¹ po dobu zhruba 1700 sekund. Z naměřených dat lze vynést průběhy všech snímaných průtoků, tlaků a teplot v závislosti na čase.

Průběžný pohyb průtoku v závislosti na rychlosti je vidět na Obr. 101. Při akceleraci průtok poklesne. V ustálené rychlosti má průtok snahu stoupat a ustalovat se. Při deceleraci průtok stoupá. V tomto režimu jízdy je to patrnější než v předešlém.

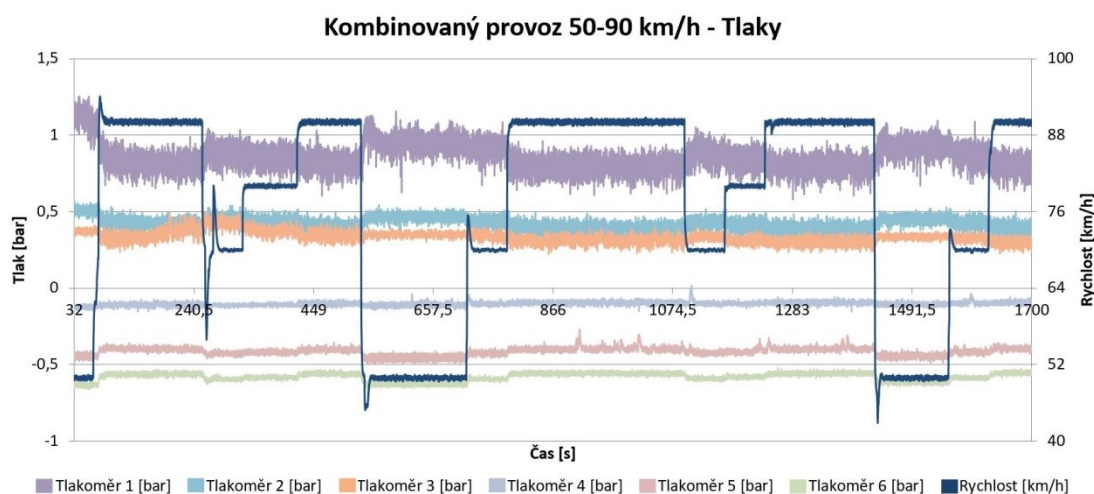


Obr. 101 Graf závislosti průtoku při rychlosti na čase – Kombinovaný provoz.

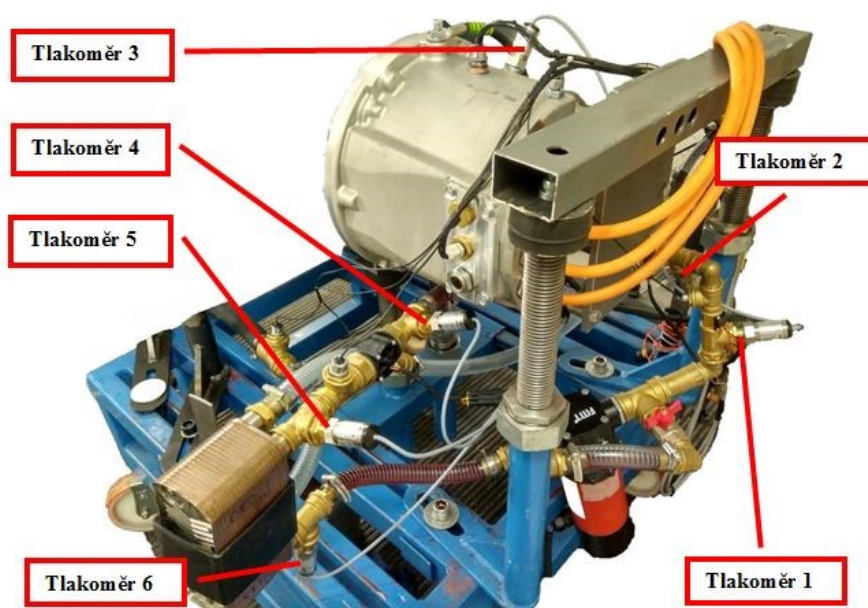


Obr. 102 Pozice průtokoměru - Kombinovaný provoz.

Na Obr. 103 vidíme graf tlaků při rychlosti v závislosti na čase. Mezi jednotlivými křivkami můžeme vyčíst tlakové ztráty na jednotlivých komponentech. Tlakoměr dva a tlakoměr čtyři zobrazuje tlakovou ztrátu motoru. Tlakoměr pět a šest nám dává tlakovou ztrátu tepelného výměníku. Z grafu vyplývá, že stejně jako u průtoku při akceleraci tlak klesá a při deceleraci stoupá, stejně jako průtok. Tlak těsně před vstupem do motoru, je průměrně okolo 0,45 bar. Tlak na motoru je průměrně okolo 0,35 bar. Podtlak těsně za motorem je okolo -0,15 bar.

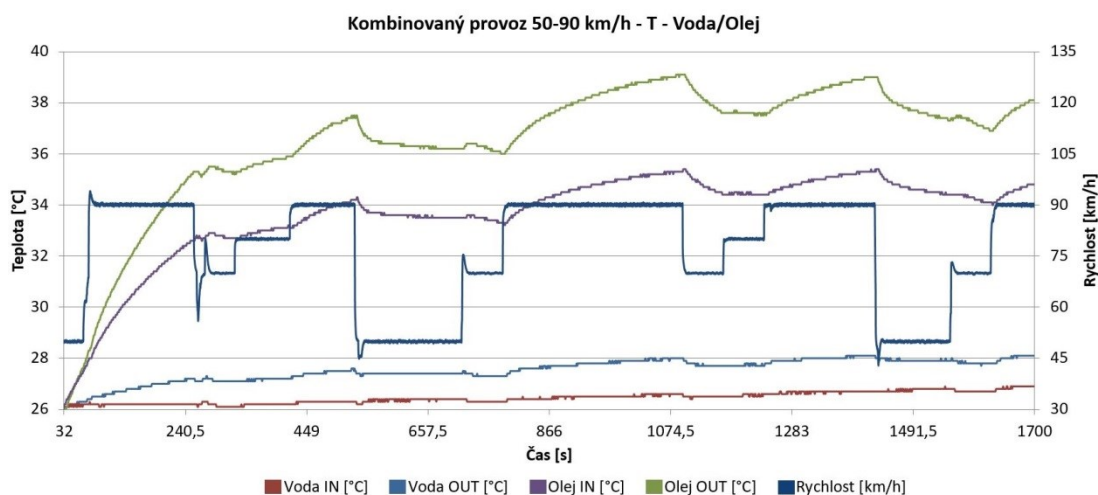


Obr. 103 Graf závislosti tlaku při rychlosti na čase – Kombinovaný provoz.

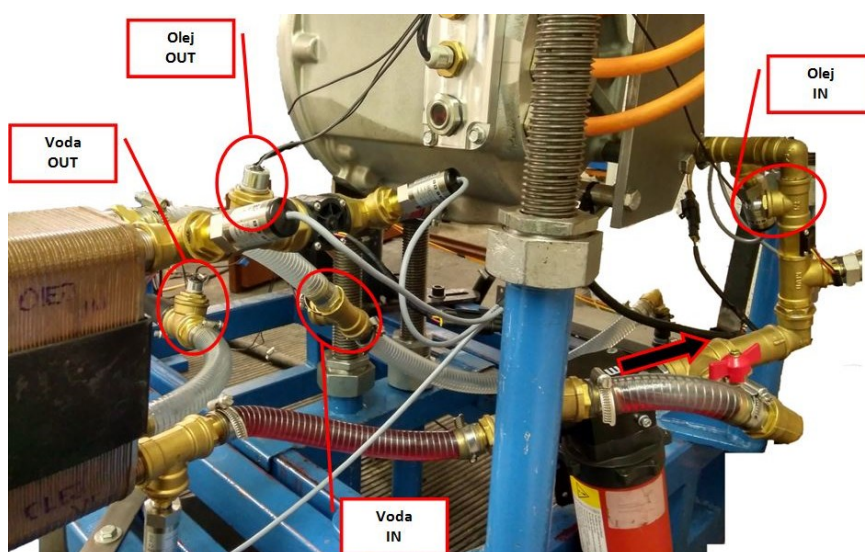


Obr. 104 Pozice tlakoměrů – Kombinovaný provoz.

Na Obr. 105 vidíme graf teplot a olejového a vodního okruhu při rychlosti v závislosti na čase. V olejovém okruhu je patrná rychlejší reakce teploty na rychlost oproti vodnímu okruhu, kde jsou reakce minimální. Rozdíl teplot na vstupní a výstupní větvi olejového okruhu je největší ze začátku měření, v dalším průběhu se rozdíl teplot mění pouze v desetinách stupně. Okolo 1700 sekund nastává ustálení, kdy už se teploty v průběhu měření zásadně nemění. Rozdíl teplot na konci měření je na vstupní a výstupní větvi okolo 3 °C. Vstupní větev olejového okruhu má teplotu cca 35 °C a výstupní větev má teplotu okolo 38 °C. Vodní okruh má minimální nárůst teploty s minimálním rozdílem teplot okolo 1 °C.

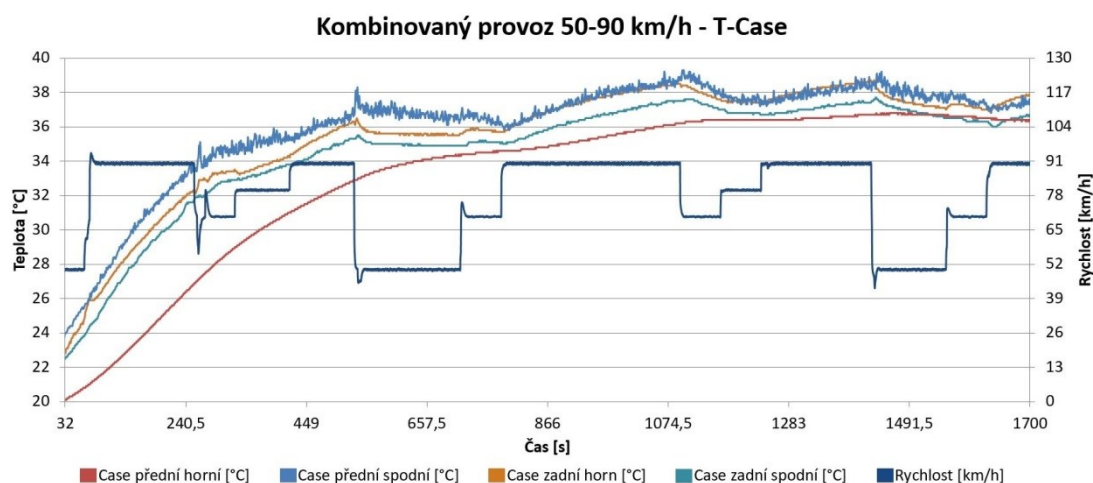


Obr. 105 Graf teplot olejového a vodního okruhu při rychlosti na čase – Kombinovaný provoz.

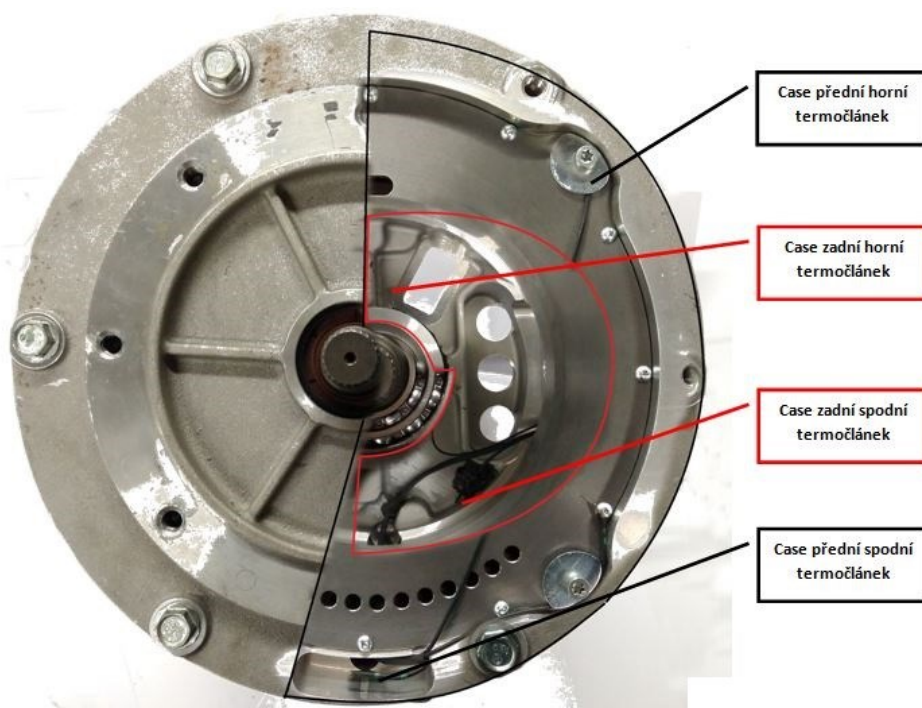


Obr. 106 Snímače teplot vodní/olejový okruh - Kombinovaný provoz.

Na Obr. 107 vidíme graf teploty snímačů ve skříni motoru při rychlosti v závislosti na čase. V olejovém okruhu je patrná reakce teploty na rychlost. Rozdíl teplot je patrný na začátku měření, v dalším průběhu se rozdíl teplot mění pouze minimálně. Ke konci měření jsou všechny teploty zhruba stejné v rozmezí 2 °C a ve skříni motoru měří průměrnou teplotu 37 °C.

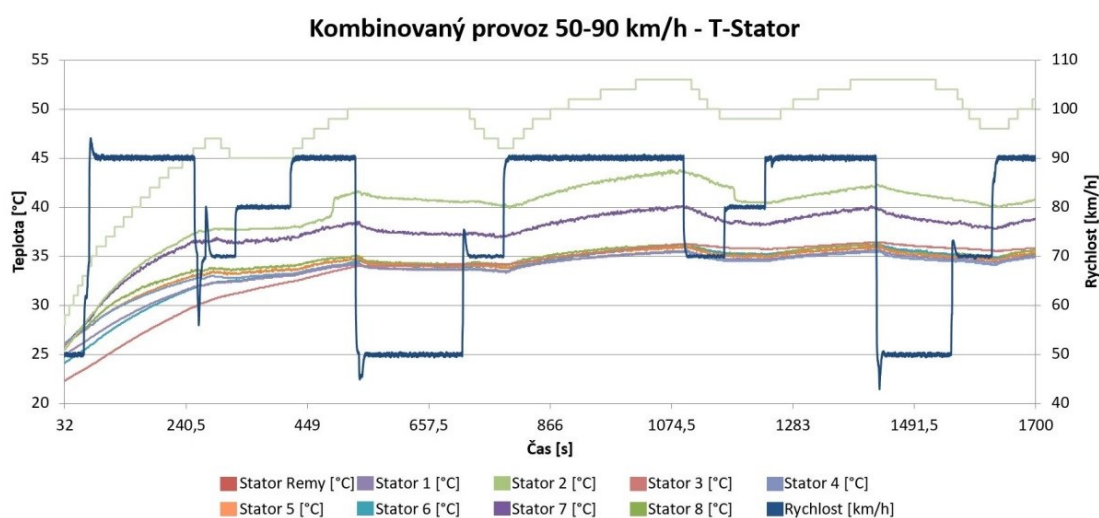


Obr. 107 Graf závislosti snímačů teplot ve skříni motoru při rychlosti na čase – Kombinovaný provoz.

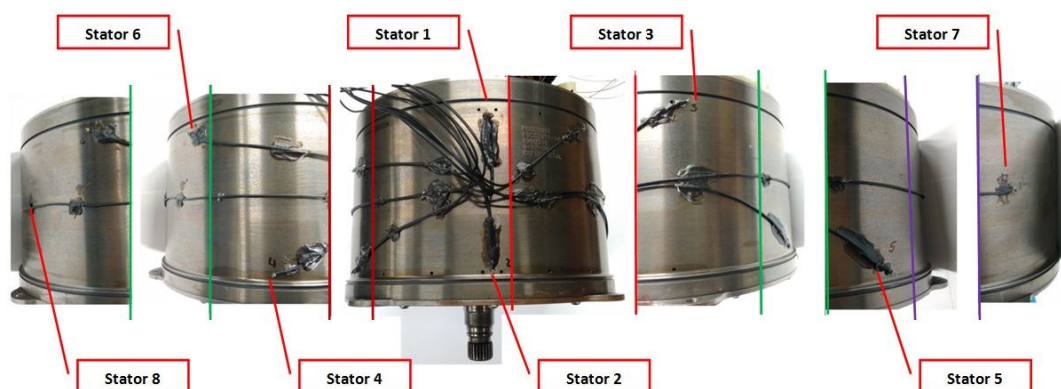


Obr. 108 Pozice termočláneku ve skříni motoru - Kombinovaný provoz.

Na Obr. 109 vidíme graf teploty snímačů na statoru při rychlosti v závislosti na čase. V olejovém okruhu je patrná reakce teploty na rychlost. Nejvyšší teploty po celý průběh měření dosahuje termočlánek umístěný přímo ve statoru, a to okolo 53 °C. Na cartridge máme nejvyšší teplotu v průběhu měření na snímači číslo 2, který je umístěn na horní přední části cartridge a měří teplotu necelých 41 °C. Druhá nejvyšší teplota na cartridge je na snímači číslo 7, který se nachází ve spodní části napříč přívodním vstupem media. Tento snímač měří teplotu okolo 38 °C. Ostatní snímače na cartridge ukazují přibližně stejně, a to okolo 35 °C.



Obr. 109 Graf závislosti snímač teplot na statoru při rychlosti na čase – Kombinovaný provoz.

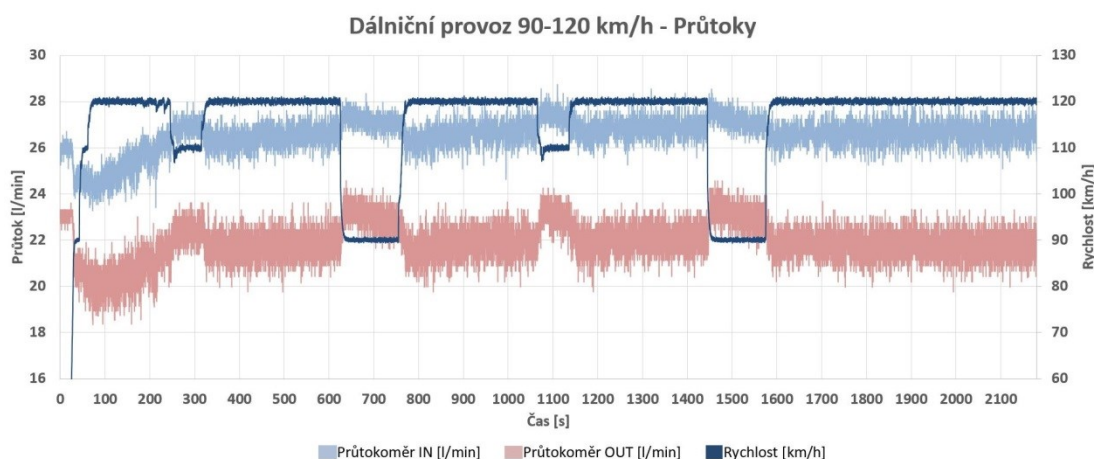


Obr. 110 Pozice termočlánekových snímačů – Kombinovaný provoz.

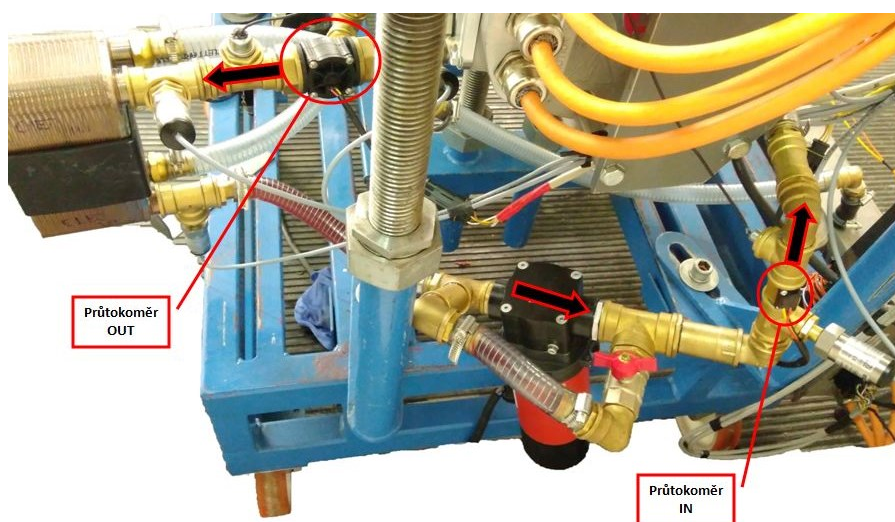
3.2.3 Dálniční provoz

Jedná se o simulaci provozu v rozmezí 90 až 120 km·h⁻¹ po dobu zhruba 2200 s. Z naměřených dat lze vynést průběhy všech snímaných průtoků, tlaků a teplot v závislosti na čase.

Průběžný pohyb průtoku v závislosti na rychlosti je vidět na Obr. 111. Při akceleraci průtok poklesne. V ustálené rychlosti má průtok snahu stoupat a ustalovat se. Při deceleraci průtok stoupá.

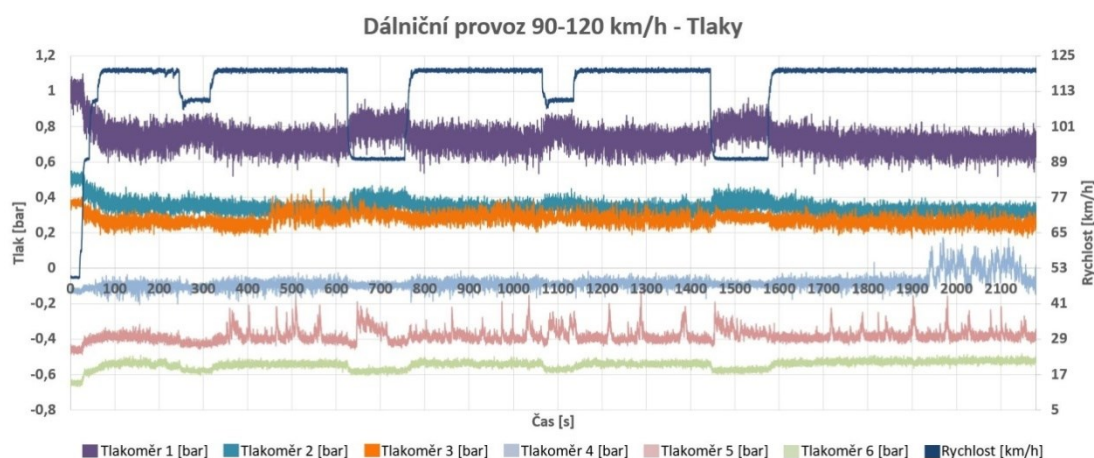


Obr. 111 Graf závislosti průtoku při rychlosti na čase – Dálniční provoz.

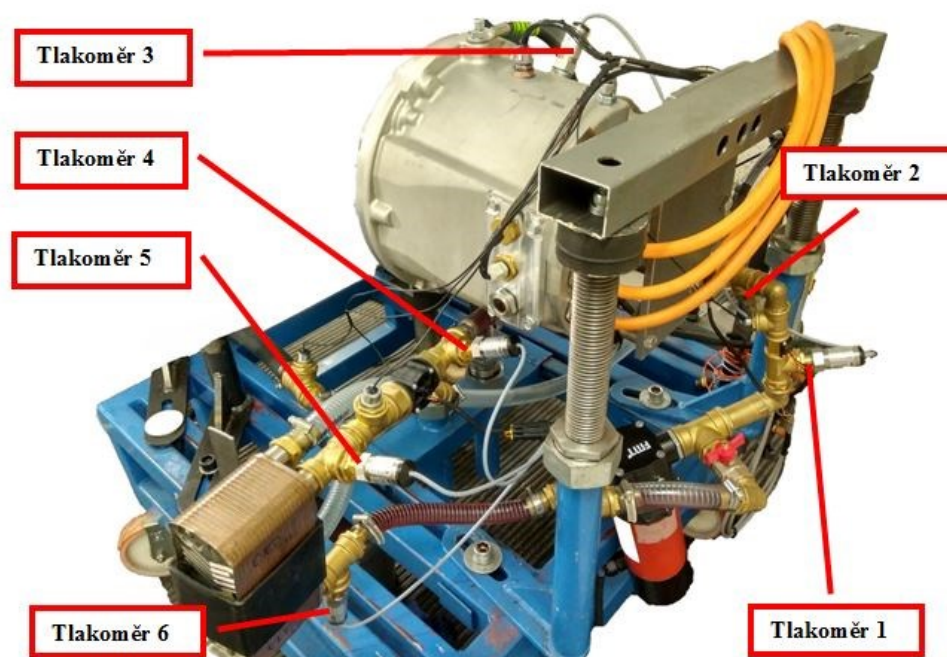


Obr. 112 Pozice průtokoměru - Dálniční provoz.

Na Obr. 113 vidíme graf tlaků při rychlosti v závislosti na čase. Mezi jednotlivými křivkami můžeme vyčíst tlakové ztráty na jednotlivých komponentech. Tlakoměr dva a tlakoměr čtyři zobrazuje tlakovou ztrátu motoru. Tlakoměr pět a šest nám dává tlakovou ztrátu tepelného výměníku. Z grafu vyplývá, že stejně jako u průtoku při akceleraci tlak klesá a při deceleraci tlak stoupá, stejně jako průtok. Tlak těsně před vstupem do motoru je průměrně okolo 0,4 bar. Tlak na motoru je průměrně okolo 0,3 bar. Podtlak těsně za motorem je okolo -0,1 bar.

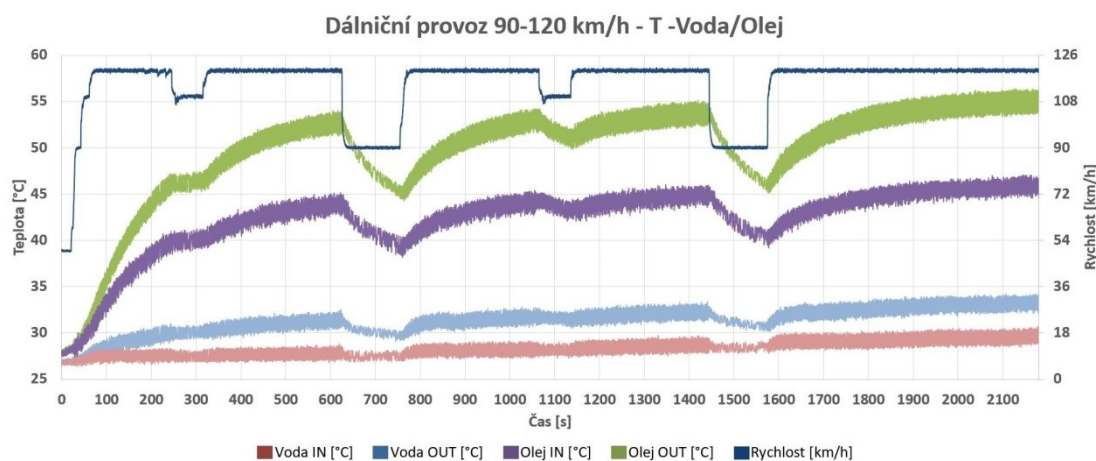


Obr. 113 Graf závislosti tlaku při rychlosti na čase – Dálniční provoz.

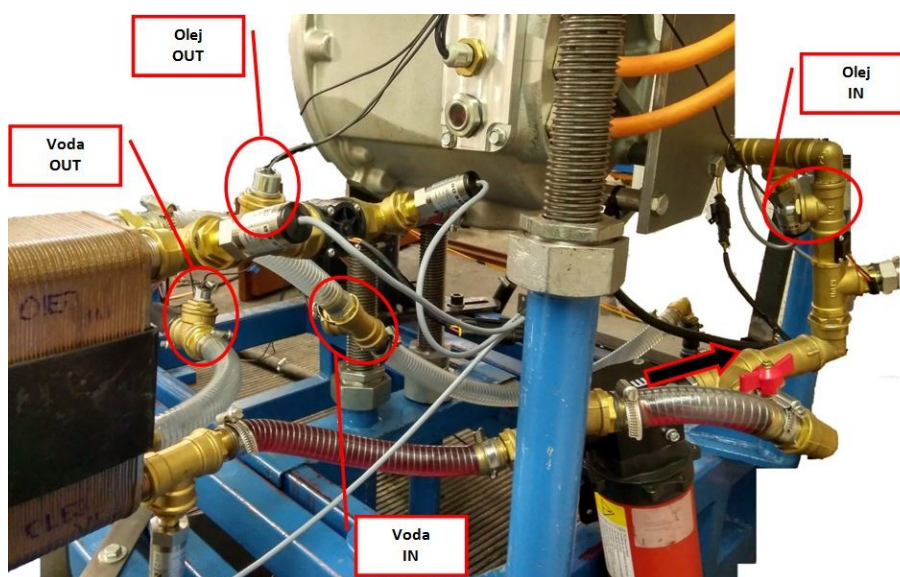


Obr. 114 Pozice tlakoměrů – Dálniční provoz.

Na Obr. 115 vidíme graf teplot a olejového a vodního okruhu při rychlosti v závislosti na čase. V olejovém okruhu je patrná rychlejší reakce teploty na rychlost oproti vodnímu okruhu, kde jsou reakce minimální. Rozdíl teplot na vstupní a výstupní větvi olejového okruhu je největší ze začátku měření, v dalším průběhu se rozdíl teplot mění pouze v desetinách stupně. Okolo 2100 sekund nastává ustálení, kdy se teploty v průběhu měření zásadně nemění. Rozdíl teplot koncem měření je na vstupní a výstupní větvi okolo 10 °C. Vstupní větev olejového okruhu má teplotu cca 45 °C a výstupní větev má teplotu okolo 55 °C. Vodní okruh má minimální nárůst teploty s minimálním rozdílem teplot pod 5 °C.

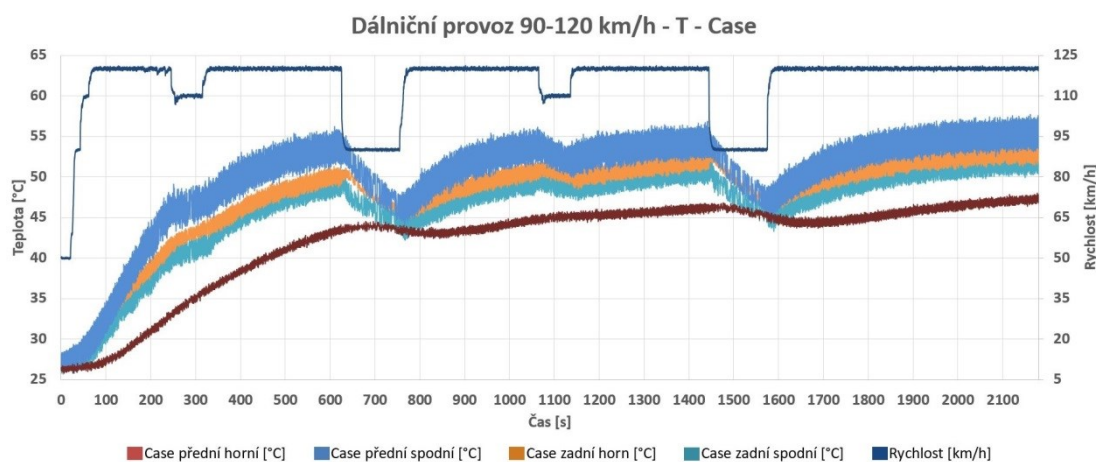


Obr. 115 Graf teplot olejového a vodního okruhu při rychlosti na čase – Dálniční provoz.

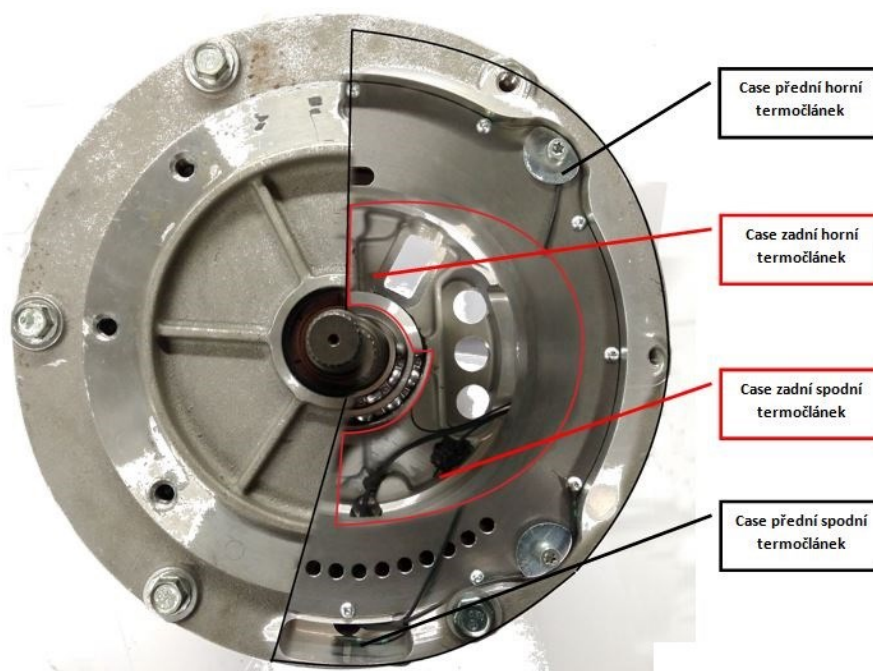


Obr. 116 Snímače teplot vodní/olejový okruh - Dálniční provoz.

Na Obr. 117 vidíme graf teploty snímačů ve skříní motoru při rychlosti v závislosti na čase. V olejovém okruhu je patrná reakce teploty na rychlost. Rozdíl teplot je patrný na začátku měření, v dalším průběhu se rozdíl teplot mění pouze minimálně. Největší teploty ke konci měření dosahuje termočlánekový snímač v přední spodní části skříně, což je odtoková část větve s teplotou okolo 55 °C. Naopak nejnižší teploty dosahuje snímač ve vrchní přední části skříně, který má teplotu pod 47 °C

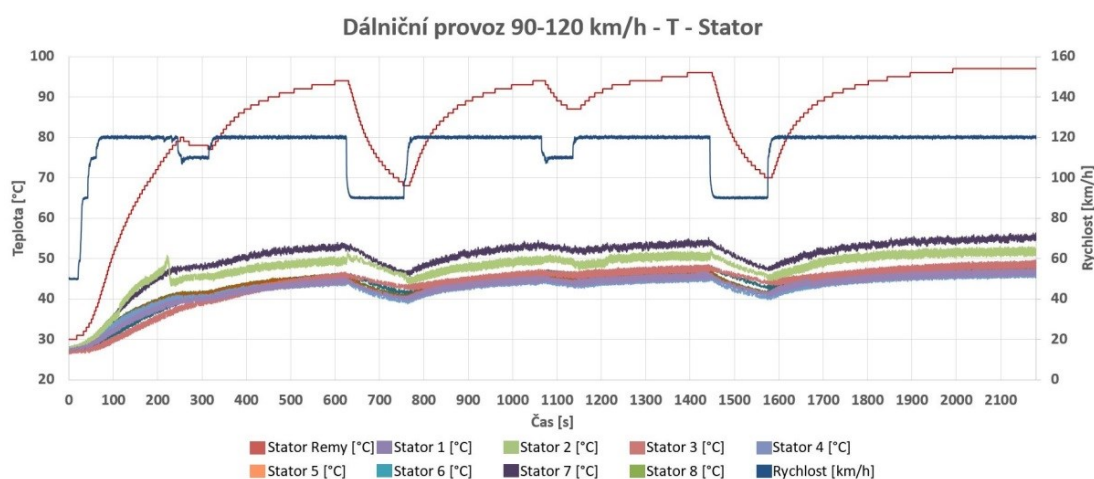


Obr. 117 Graf závislosti snímačů teplot ve skříní motoru při rychlosti na čase – Dálniční provoz.

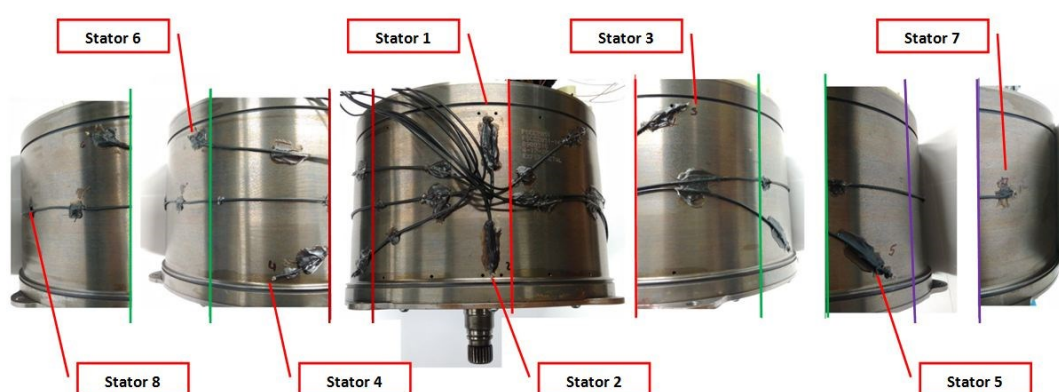


Obr. 118 Pozice termočláneku ve skříní motoru - Dálniční provoz.

Na Obr. 119 vidíme graf teploty snímačů na statoru při rychlosti v závislosti na čase. V olejovém okruhu je patrná reakce teploty na rychlost. Nejvyšší teploty po celý průběh měření dosahuje termočlánek umístěný přímo ve statoru. Na konci měření ukazuje teplotu 97 °C. Na cartridge ke konci měření máme nejvyšší teplotu na snímači číslo 7, který se nachází ve spodní části cartridge napříč přívodním vstupem media a měří teplotu necelých 55 °C. Druhá nejvyšší teplota na cartridge je naměřená na snímači číslo 2, který je umístěn na horní přední části cartridge. Tento snímač měří teplotu okolo 51 °C. Ostatní snímače na cartridge ukazují přibližně stejně, a to okolo 48 °C.



Obr. 119 Graf závislosti snímač teplot na statoru při rychlosti na čase – Dálniční provoz.



Obr. 120 Pozice termočlánekových snímačů – Dálniční provoz.

3.3 Test změny závislosti na otáčkách motoru

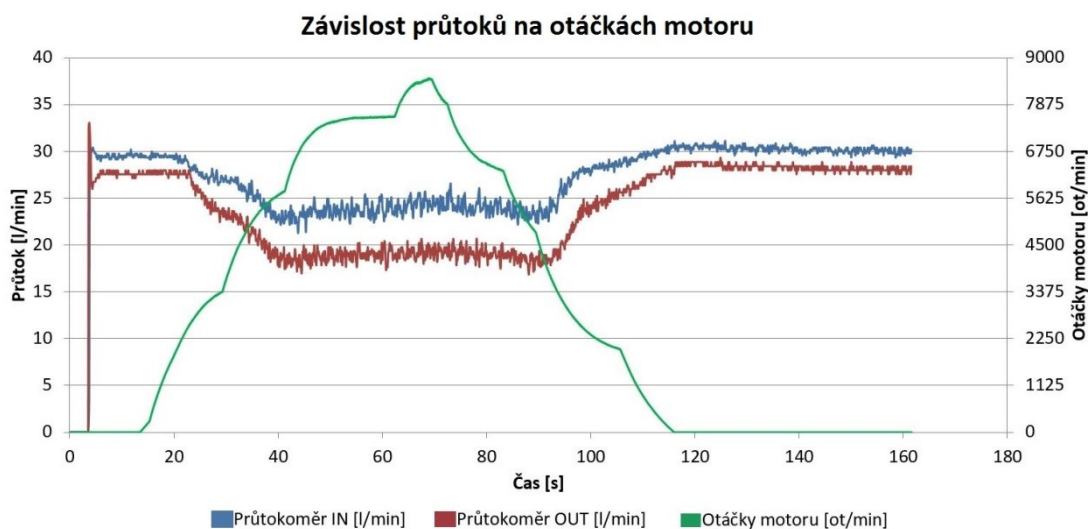
Test závislosti průtoků na otáčkách motoru – v tomto testu jsme točili motorem bez odporu brzdy SF-902 z 0 do 8500 ot·min⁻¹. Jde o závislost průtoků na otáčkách motoru.

Test závislosti tlaků na otáčkách motoru – v tomto testu jsme točili motorem bez odporu brzdy SF-902 z 0 do 8500 ot·min⁻¹. Jde o závislost tlaků na otáčkách motoru.

3.3.1 Závislost průtoků na otáčkách motoru

Na základě snižování průtoků v měření jízdních režimů jsme udělali test těchto veličin v závislosti na rostoucích otáčkách. V tomto testu jsme točili motorem bez odporu brzdy SF-902 z 0 do 8500 ot·min⁻¹. Z naměřených dat lze vynést průběhy všech snímaných průtoků, tlaků a teplot v závislosti na čase.

Na Obr. 121 vidíme graf závislosti průtoků na otáčkách motoru. Při nárůstu otáček průtok klesá, a to průměrně okolo 8 l·min⁻¹. Z grafu je patrné, že pokles tlaku nastává okolo 2000 ot·min⁻¹ a ustává okolo 6000 ot·min⁻¹. Před i za touto výšečí otáček je tlak konstantní.

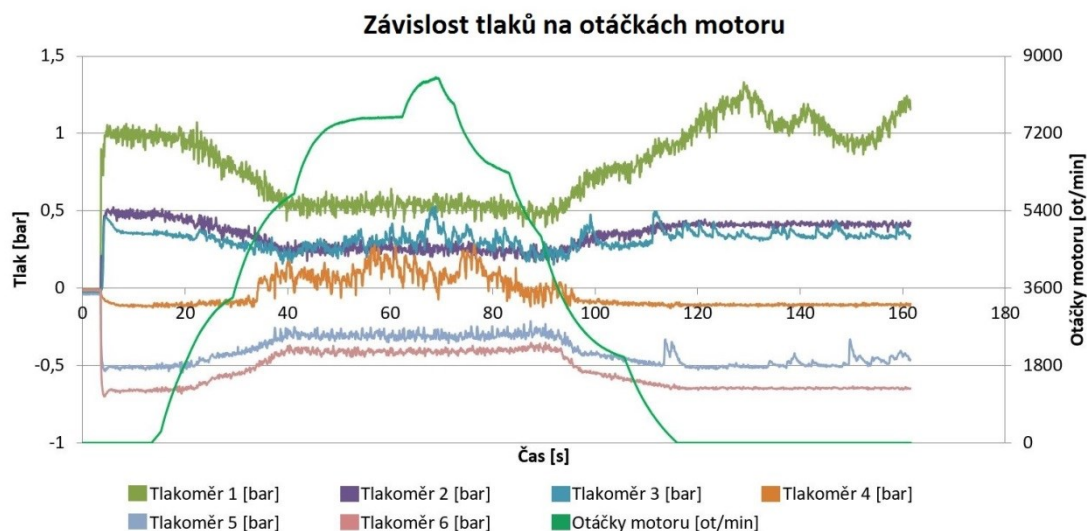


Obr. 121 Graf závislosti průtoků na otáčkách motoru.

3.3.2 Závislost tlaků na otáčkách motoru

Na základě snižování tlaků v měření jízdních režimů jsme udělali test těchto veličin v závislosti na rostoucích otáčkách. V tomto testu jsme točili motorem bez odporu brzdy SF-902 z 0 do $8500 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$. Z naměřených dat lze vynést průběhy všech snímaných průtoků, tlaků a teplot v závislosti na čase.

Na Obr. 122 vidíme graf závislosti tlaků na otáčkách motoru. U tlaků nastává shodný jev jako u průtoku. Při nárůstu otáček tlak klesá. Z grafu je patrné, že pokles tlaku nastává okolo $2000 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ a ustává okolo $6000 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$. Před i za touto výšečí otáček je tlak konstantní.

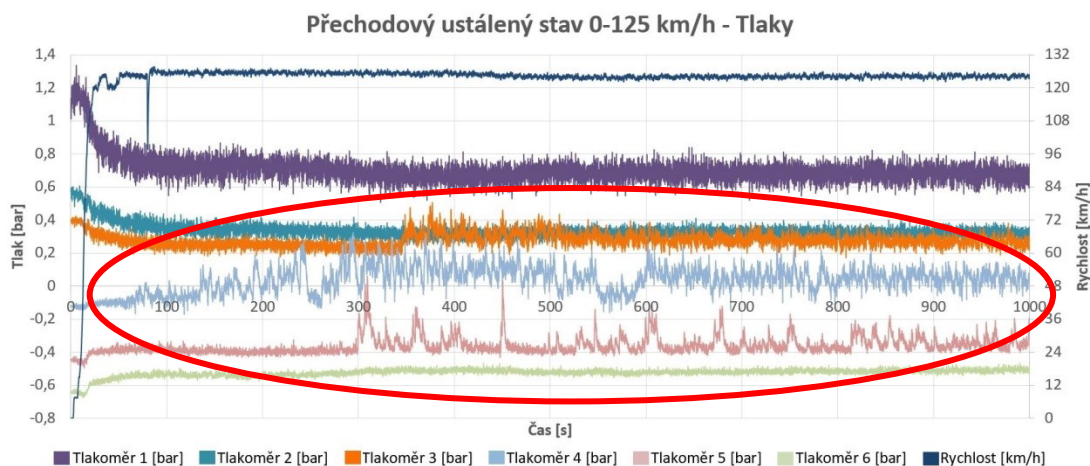


Obr. 122 Graf závislosti tlaků na otáčkách motoru.

4. SHRNUTÍ A INTERPRETACE NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ, DOPORUČENÍ PRO DALŠÍ VÝVOJ

Z měření simulovaných jízdních režimů s instrumentovaným chladicím okruhem jsme získali dostatečné množství dat. Tato data poskytují předběžný pohled na průběh, jež se v chladicím okruhu odehrává. Naměřené průběhy některých veličin vykazují nestabilní rozkmitaný průběh naznačující, že systém chlazení není optimální.

Na průbězích tlaků v jízdním režimu - Přejížděcí stav 0 až 125 km·h⁻¹ (Obr. 123) vidíme zhruba od 300 sekund nadměrně velký rozkmit křivek z třetího, čtvrtého a pátého tlakoměru.



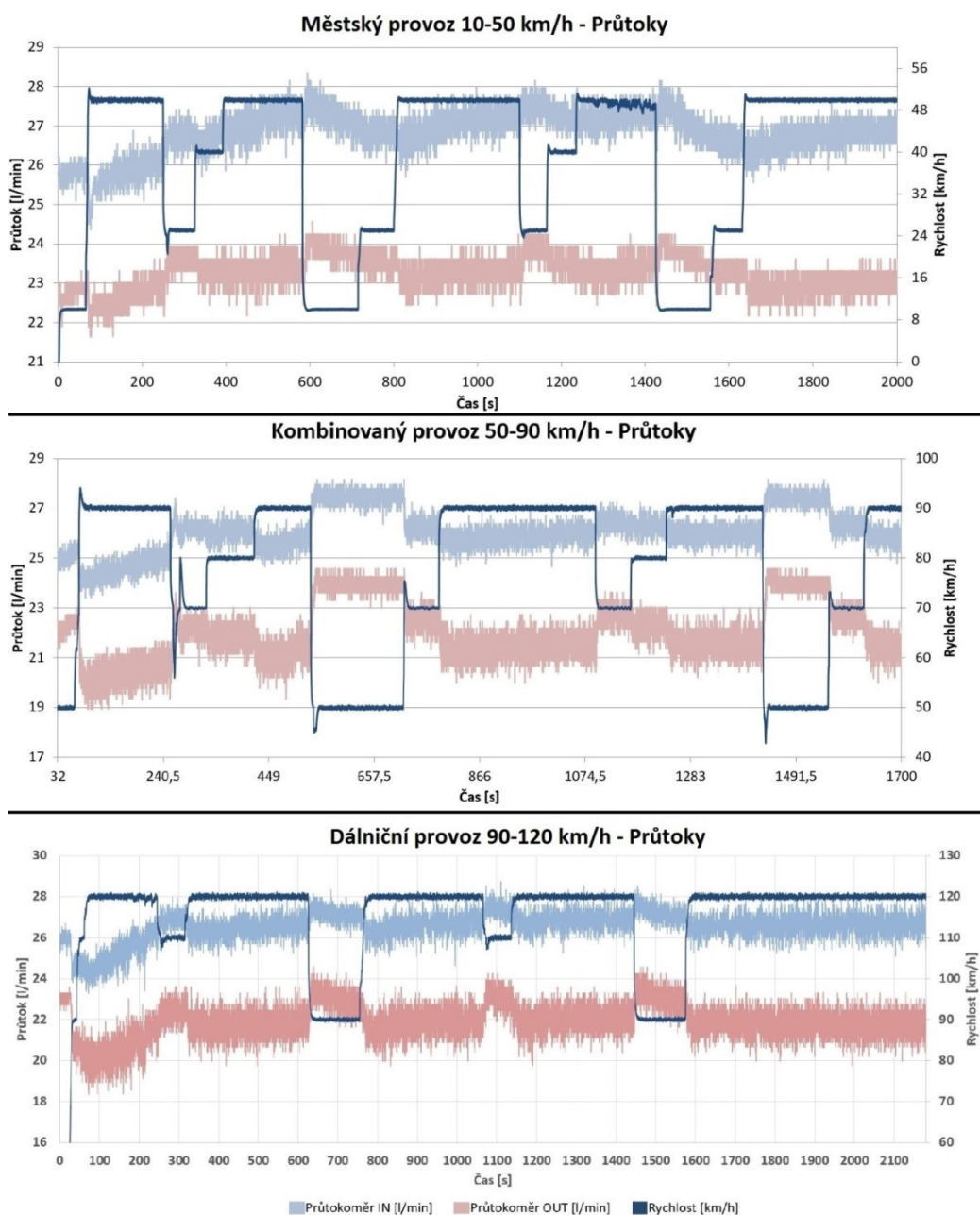
Obr. 123 Shrnutí - Graf závislosti tlaků při rychlosti na čase - přejížděcí stav pro 125 km·h⁻¹

Nejpravděpodobněji to bude mít za následek zpěnění oleje v rotoru a následný výstup zpěněného média dále do chladicího oběhu.

Proto bych navrhol nahrazení náplně olejového chladicího okruhu (Petro-Canada Dexron VI ATF), a to za olej (Millermatic ATF D-VI) s podobnými vlastnostmi a menší pěnivostí.

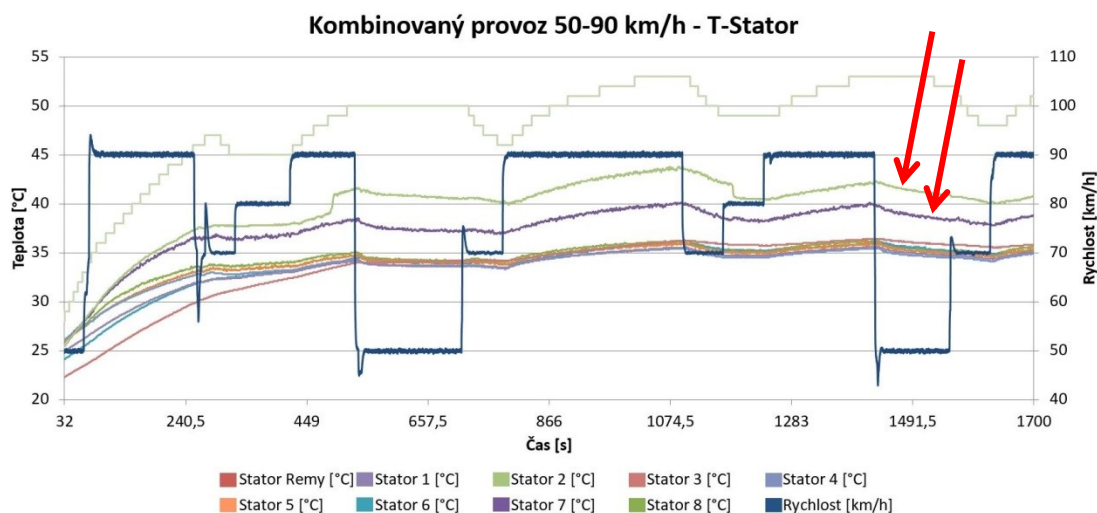
Další, nestabilní průběh nastal při simulování provozů. Ve všech případech jsou zřejmé poklesy průtoků při akceleraci. V ustálené rychlosti se průtoky také ustálí. Při snížení rychlosti se průtoky stoupají. Porovnání, všech tří grafů průtoků, vidíme na Obr. 124. Tento jev vzniká na základě odstředivé síly při roztáčení rotorů. Zde je zřejmá závislost průtoků na rychlostech resp. otáčkách motoru.

Proto navrhuji řízení otáček motoru čerpadla (ΔQ , ΔP), s cílem vyrovnat křivku průtoků média.



Obr. 124 Srovnání průtoků při simulaci provozů.

Dva z osmi termočlánkových snímačů umístěných na cartridge vykazovaly vyšší teploty než ostatních šest (viz červené šipky). Tento průběh nastal ve většině měření. Demonstrujeme ho na Obr. 125 Kombinovaný provoz – teploty na statoru.



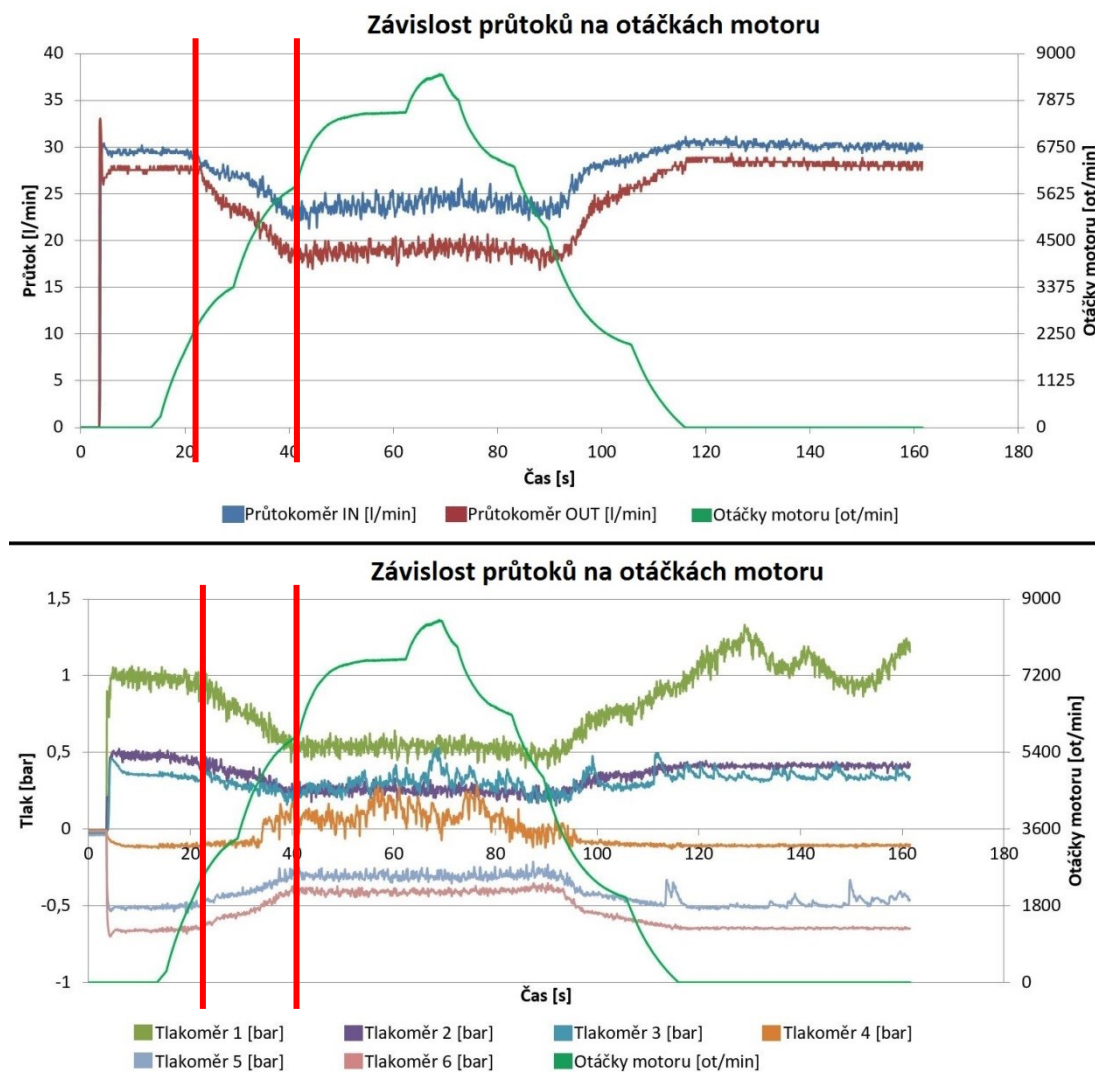
Obr. 125 Shrnutí - Graf závislosti snímačů teplot na statoru při rychlosti na čase – Kombinovaný provoz.

Z důvodu opakovaně se vyskytujícího jevu, navrhuji v dalších testech, aby bylo vyústění termočlánkových drátů z motoru vedeno jiným výstupem, pro ověření, že dráty nezpůsobují komplikace v proudění. Shluk termočlánkových drátů na povrchu cartridge je znázorněn na Obr. 126.



Obr. 126 Vyústění termočlánkových drátů z povrchu cartridge.

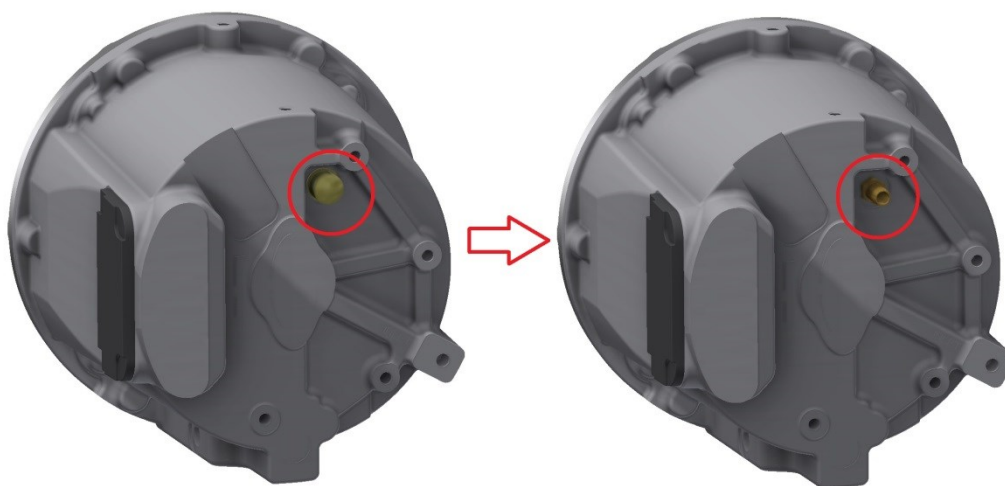
Na grafech změny závislostí průtoků a tlaků na otáčkách motoru jsme pozorovali stejný jev. Při nárůstu otáček se, zhruba od 2200 ot·min⁻¹, začal snižovat průtok i tlak zároveň. Přibližně u 6000 ot·min⁻¹ se začaly veličiny ustalovat a dále již přes nárůst otáček neklesaly, jak vidíme v červeném vymezení na Obr. 127.



Obr. 127 Shrnutí - Graf změny závislosti na otáčkách motoru.

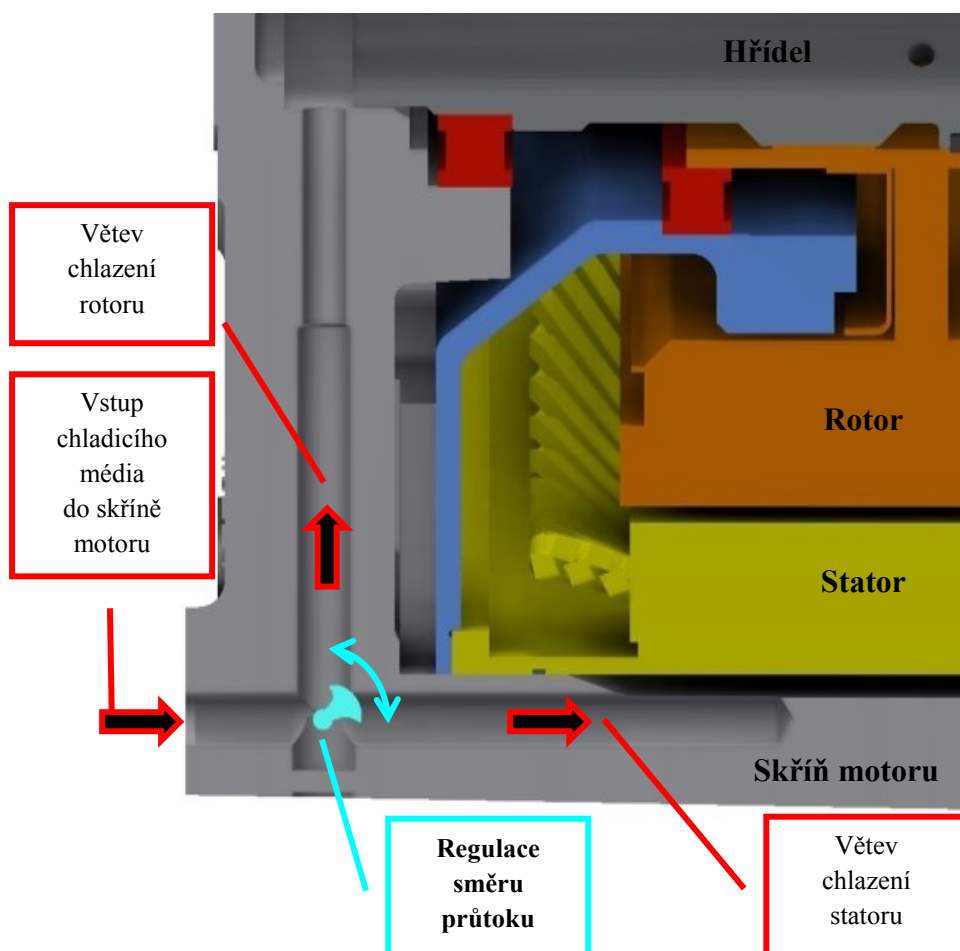
Tento děj probíhá na základě odstředivé síly při roztáčení rotorů, kdy v motoru vzniká přetlak. Jedním z možných řešení je otestovat motor bez přetlakového ventilu, který nemá definovány žádné hodnoty při propustnosti přetlakových, nebo podtlakových jevů v motoru. Navrhují přetlakový ventil nahradit hadičníkem s výstupem do volné atmosféry. Případně nahradit odvětrávacím labyrintem.

Návrh změny na skříni motoru. Výměnu přetlakového ventilu za hadičník vidíme na Obr. 128.



Obr. 128 Návrh změny na skříni motoru přetlakového ventilu za hadičník.

Dále bych navrhoval regulaci rozdělení průtoku do větví pro rotor a stator (Obr. 129). Regulace by uzavírala, případně zmenšila průtok pro méně potřebnou větev.



Obr. 129 Návrh usměrnění průtoků chladicí soustavy ve skříni motoru.

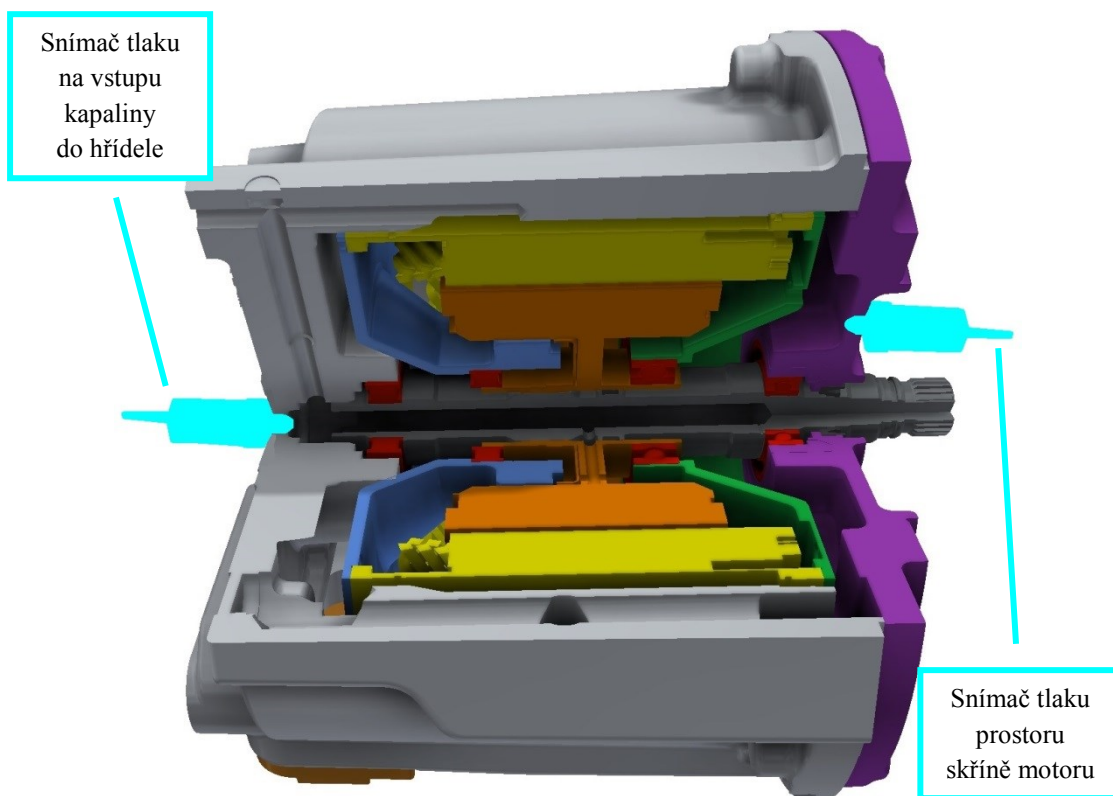
Větší průměr průtokových kanálků na cartridge (Obr. 130).



Obr. 130 Průtokové kanálky na plášti cartridge.

Navrhuji zrealizovat matematickou simulaci s cílem ověřit vliv průměrů průtokových kanálků na veličiny P , Q .

Pro lepší popis dějů vznikajících při akceleraci otáček motoru navrhuji zrealizovat navýšení počtu snímačů tlaků. Měření tlaků na vstupu do hřídele a čelním víku skříně motoru (Obr. 131).



Obr. 131 Pozice o rozšíření snímačů tlaků.

Z důvodu experimentálně ověřeného poznatku, že absorbér brzdy SF 902 ubrzdí REMY HVH250-090 v celém rozsahu měřených otáček, doporučuji vyřadit převodovou skříň.

5. ZÁVĚR

Jedním z hlavních cílů této diplomové práce bylo, realizovat experimentální instrumentovaný chladicí okruh pro testování průběhů průtoků, tlaků a teplot v elektromotoru REMY HVH250-090 při simulovaných jízdních režimech v laboratorních podmínkách.

První kapitola práce popisuje vybranou trakční jednotku, její technické parametry a výkonové křivky udávané výrobcem. Seznámení se s jednotlivými dílčími částmi motoru, ze kterých se skládá. Dále pak je popsán dříve provedený experiment původního chladicího okruhu, který byl jeden z podnětů k jeho zdokonalení.

Druhá kapitola, se věnujeme návrhu experimentální úlohy. Zde je popis nově navrženého instrumentovaného chladicího okruhu. Ten je oproti původnímu zjednodušen snížením počtu čerpadel, je odstraněná olejová nádrž. Zároveň jsou do chladicího okruhu implementovány snímače stavových veličin (P, T, Q). Kapitola obsahuje popis uspořádání instrumentované experimentální úlohy, realizované s využitím motorové brzdy.

Třetí kapitola se zabývá realizací navržené experimentální úlohy. Popisujeme navržené testovací režimy a simulace provozu. Popis jednotlivých naměřených grafů průtoků, tlaků a teplot v chladicím okruhu motoru.

Ve čtvrté kapitole je proveden rozbor experimentálně naměřených průběhů stavových veličin chladicího okruhu. Jsou identifikovány nově pozorované jevy, zejména nárůst hydraulických odporů motorů v režimu akcelerace otáček. Z naměřených dat jsou vyvozovány závěry, včetně návrhů pro další aplikační vývoj pohonné jednotky.

Předkládána diplomová práce doplnila stávající znalostní bázi a přinesla nová vývojová témata.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ČECH, Radim. *Testování materiálů pro použití na konstrukční části elektromotoru* [online]. Ostrava, 2016. [cit. 2017-09-28]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/112238>. Disertační práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [2] ČECH, Radim. *Technická zpráva z brzdění REMY motoru: pohonné jednotky pro vyvíjený elektromobil StudentCar*. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Ostrava, 2015, [cit. 2017-10-09].
- [3] REMY INTERNATIONAL, Inc. *Remy HVH250 ApplicationManual* [online]. 2011. [cit. 2017-10-09]. Dostupné také z: https://www.neweagle.net/support/wiki/images/archive/a/a6/20140501174637!HVH250_MotorManual20110408.pdf
- [4] BORGWARNER, Inc. *HVH250-090 Electric Motor* [online]. 2011. [cit. 2017-10-12]. Dostupné také z: https://cdn.borgwarner.com/docs/default-source/default-document-library/remy-pds---hvh250-090-sheet-euro-pr-3-16.pdf?sfvrsn=a142cd3c_9,
- [5] PZK BRNO, a.s. *Neodymové magnety* [online]. 2018. [cit. 2017-11-02]. Dostupné také z: <http://www.pzk.cz/cz/neodymove-magnety>
- [6] ZETTLER UK, Ltd. *Resolvers, Optical Encoders and Inductive Encoders* [online]. 2018. [cit. 2017-11-02]. Dostupné z: <https://www.zettler.com/articles/resolvers-optical-encoders-and-inductive-encoders/>
- [7] FMT SWISS AG. *MOBIMAx 54 l/min-14.3 gpm* [online]. 2018. [cit. 2017-11-02]. Dostupné také z: <https://www.fmtag.com/diesel-und-heizoel/?lang=cs#!/c/2066/s/22877/i/1769474/23406>
- [8] BD SENSORS S.R.O. *17.609 G OEM Snímač tlaku* [online]. 2017. [cit. 2017-11-04]. Dostupné také z: http://www.bdsensors.cz/fileadmin/user_upload/Download/Datenblaetter_datasheets/17.609G_CS.pdf
- [9] AUTOMATIZACE.KVALITNE. *Turbínkový mosazný průtokoměr se závitem G1/2"* [online]. 2016. [cit. 2017-11-05]. Dostupné také z: <http://www.automatizace.kvalitne.cz/senzory/79-turbinkovy-mosazny-prutokomer-se-zavitem-g12-1-az-30-litru-minutu-hal-vhodny-nejen-pro-arduino.html>
- [10] AUTOMATIZACE.KVALITNE. *Průtokoměr se závitem G1"* [online]. 2016. [cit. 2017-11-05]. Dostupné také z: <http://www.automatizace.kvalitne.cz/arduino-pro-kotle-a-domaci-vytapeni/78-prutokomer-se-zavitem-g1-pro-vodunaftuphm-1-az-60-litru-minutu-hal-vhodny-nejen-pro-arduino.html>

- [11] SWEP INTERNATIONAL AB. *HEAT EXCHANGER SWEP B5* [online]. 2003. [cit. 2017-11-10]. Dostupné také z: <http://www.eshop-vymeniky.cz/filesManager/show/5426f4db-ccac-4700-bd0d-48585e17a87a>
- [12] OMEGA ENGINEERING, Inc. *Miniature Connectors Type SMPW* [online]. 2018. [cit. 2017-11-10]. Dostupné také z: https://www.omega.com/temperature/pdf/SMPW_SMP_HMP_HMPW.pdf
- [13] OMEGA ENGINEERING, Inc. *Thermocouple and Fine Wire Welder* [online]. 2016. [cit. 2017-12-01]. Dostupné také z: <https://www.omega.com/Manuals/manualpdf/m3607.pdf>
- [14] LOXEAL, Srl. *Technical Data Sheet LOXEAL 55-03* [online]. 2018. [cit. 2017-11-21]. Dostupné také z: <http://www.loxeal.com/wp-content/uploads/2017/09/TDS-55-03e.pdf>
- [15] DYMAX CORPORATION. *See-Cure 3225-T-SC* [online]. 2012. [cit. 2017-12-12]. Dostupné také z: <http://www.dymax.com/images/pdf/pds/3225-t-sc.pdf>
- [16] SUPERFLOW. *ENGINE DYNAMOMETERS* [online]. 2018. [cit. 2018-02-08]. Dostupné také z: <http://www.assurich.com.my/data/ED-series.pdf>
- [17] *Úloha měření výkonových parametrů a emisí spalovacích motorů na motorové brzdě, srovnání sériového a upraveného motoru.* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2007. [cit. 2018-03-11]. Dostupné také z: <http://docplayer.cz/14916225-Uloha-mereni-vykonovych-parametru-a-emisi-spalovacich-motoru-na-motorove-brzde-srovnani-serioveho-a-upraveneho-motoru.html>
- [18] EXPERIMENTALCAR. *Kurz vyhodnocení komfortu jízdy na sedadle experimentálního vozidla, rozšíření rozsahu WiFi sítě* [online]. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Ostrava, 2012. [cit. 2018-03-11]. Dostupné také z: http://experimentalcar.vsb.cz/Vyuka/Kurz5/kurz_c5.pdf